



100-102-10/70

Praktijkdemonstratie Meerdaagse Temperatuurintegratie

G.A. van den Berg, F. Buwalda en E.C. Rijpsma

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	1
1 INLEIDING	3
1.1 AANLEIDING TOT HET ONDERZOEK	3
1.2 ACHTERGROND TEMPERATUURINTEGRATIE	3
1.2.1 Algemene effecten van temperatuur op het gewas	3
1.2.2 Uitzondering	4
1.2.3 Plantbalans en regelmaat	4
1.3 VOORDELEN TEMPERATUURINTEGRATIE BOVEN EEN TRADITIONELE REGLING	5
1.3.1 Energiebesparing	5
1.3.2 Afvlakking energiepieken	5
1.3.3 Betere temperatuur-/lichtbalans	5
1.3.4 Teeltsturing	6
1.3.5 Hoger CO ₂ -niveau	6
1.4 TEMPERATUURVERDELING	7
2 MATERIAAL EN METHODEN	8
2.1 PROEFOPZET EN ORGANISATIE	8
2.2 WERKING ECONAUT-CTI	8
2.3 CONDENSATIEMODEL	10
2.4 DEELNEMENDE BEDRIJVEN	10
2.4.1 Tomatenbedrijf	10
2.4.2 Paprikabedrijf	11
2.4.3 Komkommerbedrijf	11
2.5 INSTELLINGEN KASTEMPERATUUR BIJ REFERENTIE- EN CTI-REGLING	11
3 RESULTATEN	13
3.1 TOMAAT	13
3.1.1 Kasklimaat en energiebesparing	13
3.1.2 Gewas en productie	14
3.1.3 Discussie	17
3.1.4 Conclusie	17
3.2 PAPRIKA	18
3.2.1. Kasklimaat en energiebesparing	18
3.2.2 Gewas en productie	20
3.2.3 Discussie	22
3.2.4 Conclusie	23
3.3 KOMKOMMER	24
3.3.1 Kasklimaat en energiebesparing	24
3.3.2 Gewas en productie	26
3.3.3 Discussie	26
3.3.4 Conclusie	28

4	SLOTDISCUSSIE	29
4.1	ENERGIEBESPARING	29
4.1.1	Tomatenbedrijf	29
4.1.2	Paprikabedrijf	29
4.1.3	Komkommerbedrijf	29
4.1.4	(Gewas)condensatiemodel	29
4.1.5	Temperatuur-/vochtverdeling	30
4.1.6	DIF	30
4.2	AFVLAKKEN ENERGIEPIEKEN	30
4.2.1	Aantal integratiedagen	30
4.2.2	Reactie op regenbui	30
4.3	TEELTSTURING	30
4.4	LICHT-/TEMPERATUURBALENS	31
4.4.1	Gewasreacties	31
4.5	HOGER CO2-NIVEAU	31
4.6	OPGEDANE ERVARING EN REACTIE TUINDERS	31
4.6.1	Gevoelstemperatuur	31
4.6.2	Onlogische werking'	31
4.6.3	Rustiger regeling	32
4.6.4	Afvlakken productiepieken	32
4.6.5	Etmaal temperatuur en ECO-lijn	32
4.6.6	Startmoment CTI-regeling	32
4.6.7	Controle stralingsmeter	32
4.6.8	Bijscholing	32
4.6.9	Laatste informatie uit onderzoek	32
4.6.10	Hoe verder in 2001?	32
5	PRAKTIJKADVIESINSTELLINGEN VOOR CTI-REGELING	34
5.1	TOMAAAT: ADVIESINSTELLINGEN VOOR DE CTI-REGELING	34
5.2	PAPRIKA: ADVIESINSTELLINGEN VOOR DE CTI-REGELING	36
5.3	KOMKOMMER: ADVIESINSTELLINGEN VOOR DE CTI-REGELING	38
6	BIJLAGEN	41

6.1.2	Plantbalans, zetting en regelmaat	41
6.1.3	Instellingen voor de Econaut CTI	42
6.1.4	Aanlooperperiode bij start van de teelt	43
6.2	ACHTERGROND TEELT EN INSTELLINGEN PAPRIKA	43
6.2.1	Algemene effecten van temperatuur op gewasgroei, ontwikkeling en kwaliteit	43
6.2.2	Plantbalans, zetting en regelmaat	44
6.2.3	Instellingen voor de Econaut CTI	44
6.2.4	Aanlooperperiode bij start van de teelt	45
6.3	ACHTERGROND TEELT EN INSTELLINGEN KOMKOMMERPROEF	46
6.3.1	Algemene effecten van temperatuur op gewasgroei, ontwikkeling en kwaliteit	46
6.3.2	Plantbalans en regelmaat	47
6.3.3	Instellingen voor de Econaut CTI	47
6.3.4	Aanlooperperiode bij start van de teelt	48
7	LITERATUUR	49

VOORWOORD

Planmatig produceren met een minimum aan energieverbruik en op een zo natuurlijk mogelijke manier; dat zijn drie zaken die volop in de belangstelling staan. Planmatig wil zeggen: het afgesproken (kwaliteit en hoeveelheid) product op het afgesproken moment. Een minimum aan energieverbruik is noodzakelijk om de energie-efficiency te verhogen en te voldoen aan de afspraken die hierover gemaakt zijn tussen overheid en bedrijfsleven. Zo natuurlijk mogelijk sluit aan bij de eis van de consument. Temperatuurintegratie kan dit waar maken. Het programma realiseert precies de benodigde temperatuur(som) om het product op de afgesproken tijd gereed te hebben, zonder negatieve gevolgen voor de kwaliteiten, en dat tegen het laagst mogelijk energieverbruik. Door het temperatuurregime flexibel aan te passen aan het weer, bijvoorbeeld tijdens koud donker weer een lagere temperatuur en bij warmer zonniger weer een hogere, volgt het gewas in zijn groei en ontwikkeling veel beter de natuurlijke gang van zaken dan bij de traditionele regelingen het geval is. Deze laatste hebben een veel 'starder' temperatuurregime. De temperatuurintegratieregeling anticipeert op de weersverwachting. De temperatuur die bij koud weer wordt ingeleverd wordt bij warmer weer gecompenseerd, of is al *vooraf* gecompenseerd door de regeling. Het eerste integratieprogramma 'Econaut', compenseerde binnen één etmaal; het programma dat in dit praktijkonderzoek is gedemonstreerd Econaut-CTI (Combined Temperature Integration), compenseert over meerdere dagen, tot maximaal een week. Het nieuwe programma van Hoogendoorn werd gedemonstreerd op een tomaten-, een paprika- en een komkommerbedrijf. Begeleiding vond plaats door Hoogendoorn, Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente (PBG)* en de teeltadviesbureaus van de telers. Klimaat- en gewasgegevens werden verzameld door Hoogendoorn en PBG en vervolgens door het PBG verwerkt tot een eindrapport. Het rapport verslaat niet alleen het onderzoek, maar geeft ook veel achtergrond informatie over temperatuurintegratie en de groei van het gewas. Op basis van de op dat moment bekende gegevens uit literatuur, onderzoek en praktijk geeft het rapport adviesinstellingen voor de CTI-regeling. Deze instellingen kunnen dienen als uitgangspunt voor telers die met meerdaagse temperatuurintegratie aan de slag willen.

Een woord van dank is op zijn plaats aan al diegenen, die direct of indirect aan het project hebben meegewerkt. Allereerst geldt dit de financiers, te weten: Hoogendoorn Automatisering dat het praktijkonderzoek heeft gefinancierd, NOVEM dat het benodigde literatuuronderzoek financierde en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Zonder deze financiers was er geen project geweest.

Bij het onderzoek zijn een groot aantal mensen betrokken geweest van verschillende bedrijven, die allemaal hun specifieke inbreng hebben gehad bij de uitvoering; onder andere bij de technische aanpassingen die nodig waren op de bedrijven, de vele bezoeken, het verzamelen en verwerken van gegevens en de regelmatige projectvergaderingen. We noemen hier:

De bedrijven waar het project plaatsvond.

Van de firma Gebr. Kester (tomaat), Jeroen en Marcel Kester; van de firma Gebr. van der Knaap (paprika), Rob en Ronald van der Knaap en van de firma C.D. de Jong (komkommer), Dick de Jong. De bedrijven namen ook een deel van de gegevensverzameling, met name de productie, voor hun rekening. Het was voor hen als eerste praktijkbedrijven die meerdaagse temperatuurintegratie op toepaste best spannend. Onverwachte tegenvallers in productie en/of kwaliteit zouden uiteindelijk voor hun eigen rekening komen.

Van de Firma Hoogendoorn Automatisering, de heren: Jan Voogt (projectleider), Leon Batta en René Beerkens. Hoogendoorn zorgde onder andere voor de implementatie van de benodigde software voor de klimaatregelingen en dataverzameling.

*Het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente (PBG)** de heren: Guus van den Berg, Fokke Buwalda (projectleider), Gerrit Heij, Jan Janse, Ruud Kaarsemaker, Ruud Maaswinkel, Marco van der Meer, Edwin Rijpsma, en Ton Rijdsdijk. Het proefstation zorgde voor de coördinatie, gegevensverwerking en verslaglegging.

De teeltvoorlichters: Ruud van Amersfoort (DLV), Hein Jasperse (DLV), Cock Grootsholte, en Jan Sweep (Laurense Tuinbouwadviesgroep).

Langs deze weg nogmaals bedankt voor jullie inzet.

Naaldwijk, april 2001
Dr. Ir. G. A. van den Berg
Senior Wetenschappelijk Onderzoeker

* Het Proefstation voor de Bloemisterij en Glasgroente (PBG) is per 1-1-2001 overgegaan in Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Glastuinbouw. Omdat dit onderzoek al voor die datum was afgesloten, heet de uitvoerende organisatie PBG.

1 INLEIDING

1.1 AANLEIDING TOT HET ONDERZOEK

In 1998 is op het proefstation (PBG) en in de praktijk een programma 'Econaut' getest dat de kasttemperatuur binnen één etmaal integreert. De gemiddelde etmaaltemperatuur verandert hierbij niet ten opzichte van een traditionele regeling; alleen de verdeling van de temperatuur over het etmaal verandert. Met dit programma bleek op jaarbasis circa 10% aan primaire energie (aardgas) te besparen. Omdat het programma binnen één etmaal compenseert, kunnen soms sterke temperatuur fluctuaties voorkomen en worden wisselingen in het buitenklimaat over meerdere dagen (donkere en of koude dagen afgewisseld door zonnige en of warmere dagen) niet benut. Een programma voor meerdaagse temperatuur integratie doet dit wel. Zo'n programma is in 1999 op het PBG getest en bleek ook een besparing te geven van rond de 10%. Hoogendoorn heeft nu een programma, Econaut CTI (Combined Temperature Integration) ontwikkeld dat etmaal en meerdaagse integratie combineert met de weersverwachting op korte (binnen een dag) en langere termijn (tot één week). Op basis van het eerder genoemde onderzoek, aangevuld met modelberekeningen, zou met deze regeling een besparing van 10-15% op jaarbasis in de praktijk zeker mogelijk moeten zijn. Of dit ook daadwerkelijk realiseerbaar is in de praktijk zonder nadelige effecten voor productie en kwaliteit, werd in 2000 onderzocht op drie moderne vruchtgroenten bedrijven, een tomaten-, een paprika- en een komkommerbedrijf.

1.2 ACHTERGROND TEMPERATUURINTEGRATIE

Temperatuurintegratie vindt zijn oorsprong in het plantenfysiologisch gegeven dat voor de ontwikkeling van het gewas de gemiddelde temperatuur in het algemeen belangrijker is dan de momentane temperatuur. Bij een bepaalde gemiddelde temperatuur hoort altijd een bepaalde vaste ontwikkelingsnelheid. De manier waarop dit gemiddelde tot stand komt is, zolang kritische grenzen niet worden overschreden, niet zo belangrijk. Het programma Econaut CTI realiseert dit gemiddelde met een minimum gebruik van primaire energie (aardgas). Het maakt hierbij optimaal gebruik van de aanwezige bedrijfsoutillage zoals schermen, verwarmingssystemen, type verwarmingsbuis, assimilatiebelichting en het korte termijn (binnen één dag) en lange termijn (één week) lokale weerbericht. Het weerbericht wordt hiervoor twee tot vier maal per etmaal automatisch opgevraagd.

Het programma biedt tevens de mogelijkheid om energieverbruikpieken te voorkomen dan wel sterk af te vlakken. Dit laatste is actueel in verband met het CDS-systeem, waarmee de gasprijs in de nabije toekomst wordt berekend.

1.2.1 Algemene effecten van temperatuur op het gewas.

De belangrijkste directe invloed van de temperatuur is die op de snelheid van fysiologische processen die de ontwikkeling van de plant beïnvloeden (bladafsplitsing, bloemontwikkeling, uitgroei van bladeren en vruchten). Hoe hoger de temperatuur, des te sneller deze processen verlopen. De directe invloed van de temperatuur op de groei (fotosynthese en productie van droge stof en biomassa) is veel geringer. Deze processen worden sterker bepaald door de hoeveelheid beschikbaar licht dan door de temperatuur. De temperatuur heeft wel een indirecte invloed op de productie van biomassa. Bij een jong gewas zijn er vaak nog niet voldoende uitgegroeide bladeren om al het beschikbare licht op te vangen. Een snelle bladafsplitsing en uitgroei van de bladeren bij een hoge temperatuur zorgt er dan voor dat het bladoppervlak snel toeneemt en het gewas

meer licht opvangt en meer assimilaten maakt. Deze assimilaten worden voor het grootste deel meteen weer geïnvesteerd in extra blad, zodat er weer meer licht wordt opgevangen en een effect van rente op rente ontstaat. Dit effect stopt zodra er zoveel blad is dat vrijwel al het beschikbare licht wordt opgevangen, en de aanmaak van extra blad geen extra voordeel meer oplevert voor de lichtopvang. Verschillen die in deze vroege teeltfase ontstaan kunnen de gehele teelt doorwerken in de productie.

1.2.2 Effecten van het verschil in dag-/nachttemperatuur.

Een uitzondering op de regel dat het er weinig of niet toe doet hoe een gemiddelde temperatuur bereikt wordt, vormt de temperatuurverdeling tussen licht (dag) en donker (nacht). Wanneer de dagtemperatuur gedurende een langere periode consequent verschilt van de nachttemperatuur, heeft dit gevolgen voor plant en gewas. Het verschil tussen de dagtemperatuur (lichttemperatuur) en nachttemperatuur (donkertemperatuur) wordt aangeduid met DIF (van het engelse difference, dat verschil betekent). Een positieve DIF betekent dat de dagtemperatuur hoger is dan de nachttemperatuur, een negatieve DIF betekent dat de nachttemperatuur hoger is dan de dagtemperatuur. Een positieve DIF is de meest natuurlijke. Overdag is het meestal warmer dan 's-nachts. Algemene effecten van een langdurige negatieve DIF zijn: minder strekking door kortere internodiën, waardoor meer bladeren tot aan de draad, en een lichtere kleur van bladeren en vruchten. Een positieve DIF leidt tot meer strekking door langere internodiën en dus minder bladeren tot aan de draad. Ook heeft een positieve DIF een stimulerend effect op de uitgroei van bladeren, waardoor er sneller een groot bladoppervlak (LAI) ontstaat. Dit is weer positief voor de lichtopvang en stimuleert een vroege hoge productie. LAI betekent: Leaf Area Index = m² blad per m² kas. Om deze reden wordt bij een jong gewas meestal een positieve DIF aangehouden totdat er voldoende bladoppervlak is gevormd (LAI > 2 – 3) om het beschikbare licht maximaal op te vangen. Als dit eenmaal een feit is, heeft een negatieve DIF geen effecten op de ontwikkelingssnelheid en de totaalproductie. Effecten van DIF zijn eigenlijk alleen maar over langere perioden bestudeerd, over effecten van korte periodes of een onregelmatige DIF is niets bekend. In vergelijking met de effecten van Negatieve DIF, lijken de effecten van één en meerdaagse temperatuurschommelingen, zolang er geen kritische grenzen worden overschreden, relatief klein te zijn. De productie wordt niet of nauwelijks beïnvloedt.

1.2.3 Plantbalans en regelmaat

De aanmaak (door fotosynthese) en de verwerking van assimilaten (voor onderhoud van de plant, groei en ontwikkeling) dienen in principe met elkaar in evenwicht te zijn. Een plant is wel in staat tijdelijk assimilaten op te slaan voor gebruik later. Op de lange duur kan de plant nooit meer assimilaten opmaken dan er aangemaakt zijn en de capaciteit om niet direct verwerkte assimilaten tijdelijk op te potten voor gebruik op een later tijdstip, is ook eindig. Het feit dat de plant over een tijdelijke opslagcapaciteit (buffer) beschikt betekent wel dat de afstemming tussen aanmaak en verwerking van assimilaten op de korte termijn (1 – 2 dagen) niet erg kritisch is; de verschillen worden gebufferd. De meeste vruchtgroente-gewassen zijn in staat om zelf de assimilaten behoefte af te stemmen aan het aanbod. Dit kan doordat een overschot aan assimilaten leidt tot extra bloei, meer vruchtzetting en vruchten, terwijl een tekort aan assimilaten leidt tot minder bloei, minder vruchtzetting en meer abortie (afstoten) van vruchten. Uitgroeïende vruchten zijn meestal de belangrijkste afnemers van assimilaten. Ze beconcurreren de blad- en trosontwikkeling om de beschikbare assimilaten. Een hoge temperatuur bevordert de uitgroei van vruchten en daarmee de verwerking van assimilaten, waardoor de vorming van nieuwe bloemen afneemt. Het gewas wordt meer vegetatief. Omgekeerd zal een lagere temperatuur de bloei stimuleren doordat de vertraagde uitgroei van vruchten leidt tot een overschot aan assimilaten. Het gewas wordt meer generatief. Korte temperatuurveranderingen, zo in de trant van een uurtje hoger of lager, hebben nauwelijks of geen invloed.

Doordat de invloed van de zetting op de totale plantbelasting vrij traag doorwerkt, kan bij een ongewenst cyclisch patroon van hoge en lage plantbelasting ontstaan. Het is de taak van de teler

om met aanpassingen van de stengeldichtheid, vruchtsnoei en kasttemperatuur het gewas in balans te houden en de productie op regelmaat.

Bij het meest toegepaste teeltsysteem bij komkommer, het “paraplusysteem”, wordt alleen gestuurd met vruchtsnoei bij stamvruchten tot aan de draad, later niet meer. De plantdichtheid wordt wel enigszins gevarieerd. Bij het ‘hogedraadsysteem” wordt gestuurd via aantal stengels en vruchtsnoei.

Bij paprika kan ook een overschot aan assimilaten tot problemen leiden doordat er zogenaamde ‘knoopvruchten” ontstaan.

1.3 VOORDELEN TEMPERATUURINTEGRATIE BOVEN EEN TRADITIONELE REGELING

Temperatuurintegratie telt vijf voordelen

1. Energiebesparing
2. Afvlakking energiepieken
3. Betere licht/temperatuurbalans
4. Teeltsturing
5. Hoger CO₂-niveau realiseerbaar

1.3.1 Energiebesparing

Door het loslaten van vaste temperatuurinstellingen is een energiebesparing van 10 – 15% op jaarbasis mogelijk. Hoe hoog de besparing precies uitvalt hangt er onder andere van af of het gewas gevoelig is voor een negatieve DIF, of er gebruik kan worden gemaakt van een energiescherm en van de ingestelde speelruimte (bandbreedte) die het integratieprogramma krijgt.

1.3.2 Afvlakking energiepieken

De instellingen van de Econaut-CTI kunnen zodanig gekozen worden, dat energiepieken zoveel mogelijk worden voorkomen en afgevlakt. Dit is belangrijk in verband met de liberalisering van de energiemarkt en het CDS-systeem, de nieuwe berekeningswijze voor het vaststellen van de gasprijs, die in de toekomst per bedrijf kan verschillen. Een zo vlak mogelijk afnamepatroon leidt bij het CDS-systeem tot een lagere gasprijs.

1.3.3 Betere temperatuur/lichtbalans

Om de processen voor groei en ontwikkeling van de plant zo optimaal mogelijk te laten verlopen is een balans tussen aanmaak van assimilaten (energiedragers en bouwstoffen) en het verbruik essentieel. Een te hoge of te lage temperatuur ten opzichte van de beschikbare assimilaten, die direct afkomstig zijn uit het fotosyntheseprocess of uit de assimilatenbuffer, leidt tot respectievelijk een meer vegetatief of meer generatief gewas. Doordat de CTI-regeling bij weinig zonlicht (energie) de kasttemperatuur drukt en bij veel zonlicht juist verhoogt, blijft de balans beter gehandhaafd. Dit stimuleert een stabiele productie en een betere kwaliteit. De CTI-regeling is hierdoor een meer natuurlijke regeling dan de traditionele in de glastuinbouw gebruikte regelingen. De CTI-regeling sluit beter aan bij de natuurlijke gang van zaken en stookt met de natuur mee; bij koud weer wat minder temperatuur en bij warmer weer wat meer. Een traditionele regelaar doet dit niet, die zit ‘vast’ aan vrij starre instellingen die veel minder of geen rekening houden met de actuele weerssituatie en al helemaal niet met de weersverwachting.

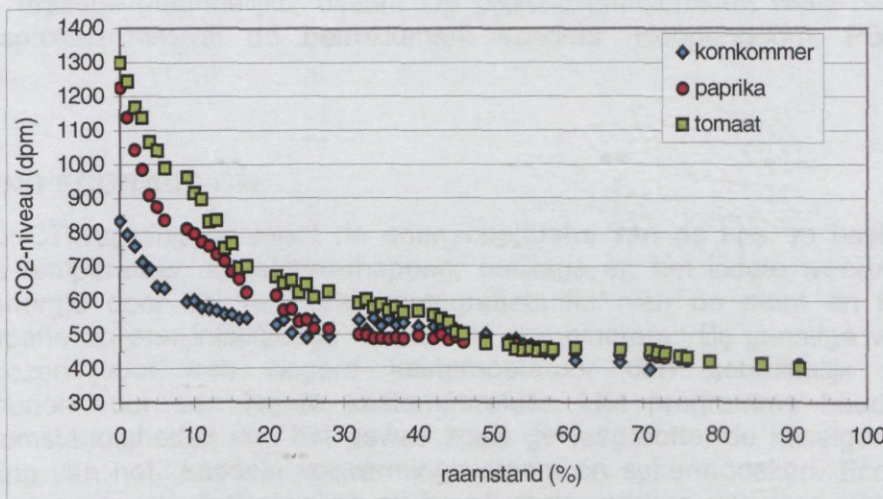
1.3.4 Teeltsturing

Bij een traditionele regeling is nooit bekend wat de gemiddelde temperatuur over een bepaalde periode zal zijn. De temperatuur beweegt zich tussen de ingestelde minimum en maximum klimaatgrenzen. De gerealiseerde temperatuur en de daarvan afhankelijke gemiddelde temperatuur of temperatuursom wordt bepaald door de actuele weersomstandigheden. Door op de weersverwachting te anticiperen realiseert een CTI-regeling wél de gewenste gemiddelde temperatuur of temperatuursom. Deze temperatuursom of gemiddelde temperatuur is bij CTI instelbaar. Omdat voor bijvoorbeeld trosontwikkeling en uitgroei duur van een vrucht een bepaalde min of meer vaste temperatuursom geldt, kan dit gegeven benut worden voor oogstplanning. De CTI-regeling zorgt er automatisch voor dat die temperatuursom ook binnen de vastgestelde tijd wordt gerealiseerd en de oogst op het van tevoren gestelde tijdstip plaatsvindt. Op die manier kan de CTI-regeling ingezet worden bij productie- en oogstplanning.

1.3.5 Hoger CO₂-niveau realiseerbaar

Door in het voorjaar de ventilatie uit te stellen ten opzichte van een traditionele regeling, wordt er een hogere CO₂-concentratie in de kas gerealiseerd, hetgeen leidt tot productieverhoging. Hierdoor stijgt de gemiddelde dagtemperatuur en zal de CTI-regeling dit compenseren door 's nachts een lagere temperatuur aan te houden. Dat het CO₂-niveau in de kas snel daalt zodra de luchtramen opengaan is duidelijk te zien in figuur 1.1. De figuur is samengesteld met gegevens van de drie bedrijven die aan het onderzoek hebben meegedaan.

Figuur 1.1 Relatie tussen de gemiddelde raamopening(%) op de 3 bedrijven die aan het onderzoek deelnamen, gemeten over de hele teeltperiode, en het CO₂- niveau in de kas.



1.4 INVLOED TEMPERATUURVERDELING OP REGELMOGELIJKHEDEN

Een hoge relatieve luchtvochtigheid (RV > 85-90%) moet voorkomen worden. Een hoge RV stimuleert schimmelziekten en veroorzaakt kwaliteitsverlies. Op de koudste plaatsen in de kas is de RV het hoogst en is de kans op condensvorming op het gewas, met name de vruchten, het

grootst. Omdat de computer zijn klimaatinformatie van de meetbox ontvangt, is het belangrijk dat de meting van de meetbox representatief is voor een zo groot mogelijk deel van de kas. Horizontale verschillen in het kasklimaat leiden er toe dat er op de koudste plekken vochtproblemen kunnen ontstaan, zonder dat dit door de computer wordt opgemerkt. De veilige speelruimte voor de kastemperatuur wordt zodoende bepaald door de temperatuurverdeling in de kas. Hoe homogener deze is, hoe meer ruimte de CTI-regeling kan krijgen zonder risico voor plaatselijke vochtproblemen en hoe meer energie kan worden bespaard.

2 MATERIAAL EN METHODEN

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet en de organisatie van het onderzoek

2.1 OPZET VAN HET ONDERZOEK EN ORGANISATIE

Het onderzoek vond plaats op drie praktijkbedrijven, één komkommerbedrijf, één paprika bedrijf en één tomaten bedrijf. De bedrijven beschikten over een kasklimaatcomputer van de firma Hoogendoorn. Per bedrijf waren voor het onderzoek twee afdelingen beschikbaar. De twee proefafdelingen waren door een transparante foliewand van elkaar gescheiden. In één afdeling, *de referentie-afdeling*, werd het kasklimaat op de traditionele wijze door de tuinder geregeld. In de tweede afdeling, *de CTI-afdeling*, werd het klimaat door een Econaut-CTI-programma geregeld. Hierbij bepaalde de tuinder de grenzen (speelruimte of bandbreedte) waarbinnen de CTI-regeling mocht opereren. CTI staat voor **C**ombined-**T**emperature-**I**ntegration. De regeling werkt namelijk met een combinatie van actieve korte- en lange termijn integratie- en optimaliseringstechnieken, een korte termijn lokale weersverwachting en tevens een meerdaagse, lange termijn, weersverwachting.

Met de Hoogendoorn computer werden klimaatgegevens verzameld evenals extra buistemperatuurmetingen. Met behulp van het **E**nergie-**C**O₂-**P**roductie-model (ECP-model) van het PBG werd hieruit het energieverbruik berekend. In gemarkeerde telvakken werden plant-, gewas- en oogstwaarnemingen verricht. Deze waarnemingen werden deels door de teler en deels door het PBG uitgevoerd. De gegevens werden genoteerd in weekstaten; die vervolgens door het PBG werden verwerkt tot tabellen en grafieken.

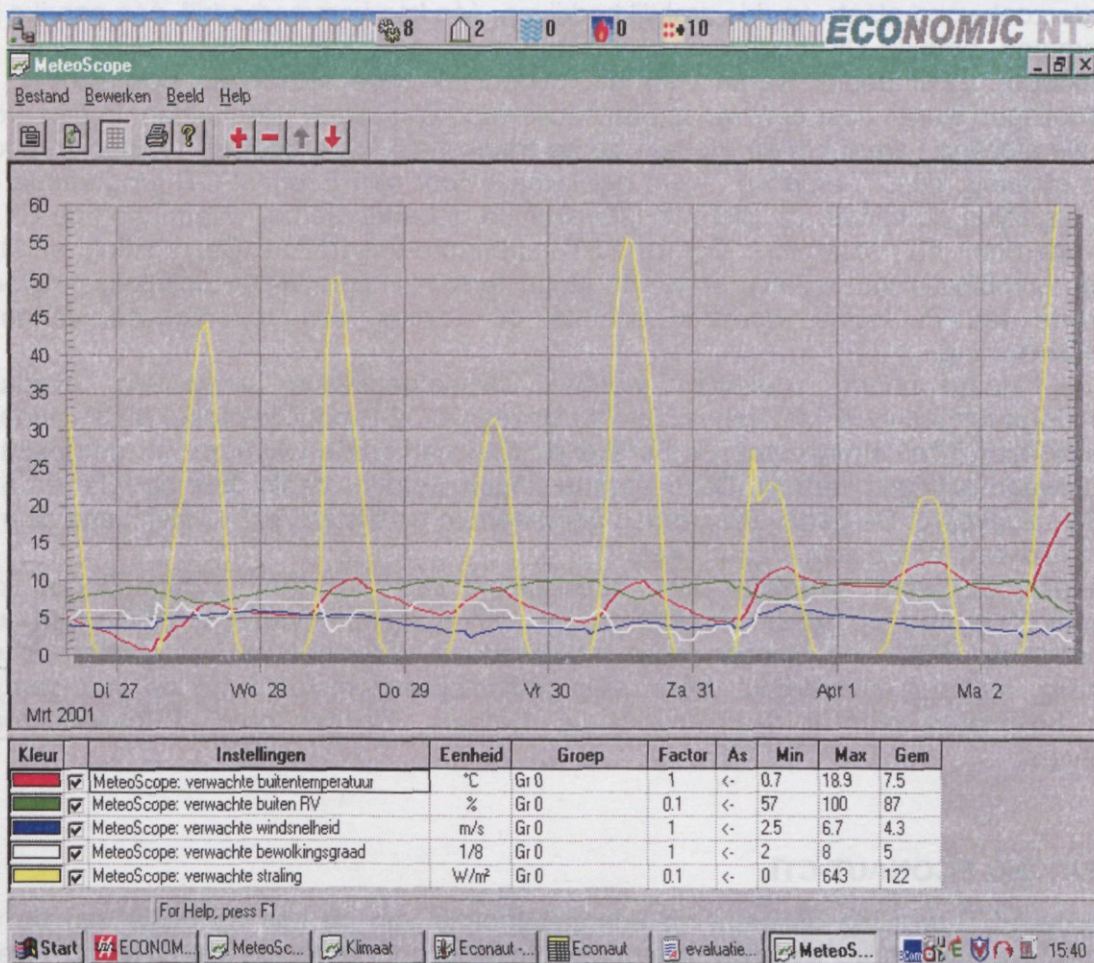
Het onderzoek werd begeleid door specialisten van de firma Hoogendoorn, de eigen teeltvoorlichters van de tuinbouwbedrijven en onderzoekers van het PBG. Een werkgroep bestaande uit PBG- en Hoogendoorn medewerkers coördineerde het onderzoek en kwam regelmatig, meestal maandelijks, bijeen. Op projectbijeenkomsten werd de voortgang van het project besproken met al de betrokkenen: tuinders, Hoogendoorn, PBG-onderzoekers en voorlichters.

2.2 WERKING ECONAUT-CTI

De Econaut-CTI-regeling berekent de energiebehoefte van de kas op basis van de gewenste gemiddelde temperatuur, kaseigenschappen, outillage en het lokale weerbericht. De regeling bespaart energie door de 'temperatuurintegratiebuffer' van de plant en het verloop van de energiebehoefte op een intelligente manier te combineren. Bij gunstige weeromstandigheden wordt gekozen voor een hogere kastemperatuur dan gebruikelijk en bij ongunstige omstandigheden voor een lagere kastemperatuur. Het programma houdt rekening met de specifieke omstandigheden van het gewas zoals gewasgrootte, de kaseigenschappen zoals: de lichtdoorlating van het kasdek, verwarmingsysteem en schermdoeken. Econaut-CTI werkt met een verwarming- en ventilatieregeling en houdt onder andere rekening met de instellingen van schermen, minimumbuizen en eventuele verlichting. De teler kan zelf aangeven hoe groot de bandbreedte mag zijn en op welke tijdstippen, en waar de minimum en maximum stook- en ventilatielijnen moeten liggen. Ook bepaalt hij over hoeveel dagen de regelaar mag integreren. Ook is het toegestane verschil tussen de dag- en nachttemperatuur (DIF) instelbaar. Als men voor DIF een negatieve waarde invult, wordt er op een hogere nacht- dan dagtemperatuur geregeld.

De Econaut-CTI geeft de optimale stooklijn weer voor het aantal opgegeven integratiedagen en berekent ook welke energiebesparing (%) bij wijziging van een instelling is te verwachten. Zo kan men een goed inzicht krijgen in het te verwachten energie-afnamepatroon bij wijziging van de instellingen, bijvoorbeeld de bandbreedte. Dit biedt de mogelijkheid om gaspieken te voorzien en af te vlakken of te voorkomen.

Het programma maakt gebruik van de weersverwachting van maximaal 7 dagen vooruit. Dit betreft de lokale weersverwachting opgesteld door Meteoconsult in Wageningen, per postcode en op een hoogte van 4 meter boven het maaiveld. Het gebruikelijke weerbericht gaat uit van een hoogte van 2 meter boven het maaiveld! Hieronder staat een voorbeeld van zo'n weersverwachting. De figuur toont de verwachte buitentemperatuur, buiten RV, windsnelheid, bewolgingsgraad (1= onbewolkt, 8 = bewolkt), straling en de verwachte minimum-, maximum- en gemiddelde waarde. Het weerbericht wordt meerdere malen per dag, tot vier maal toe, automatisch opgehaald, waarna de regeling, indien nodig, automatisch wordt aangepast aan de actuele weersverwachting.



Het CTI-programma houdt niet alleen rekening met de toekomst, maar ook met het verleden. Dit wordt meegenomen in het bepalen van de temperatuursom, uitgedrukt in graaduren of graaddagen. Als gevolg hiervan wordt de door de teler gewenste en ingestelde gemiddelde kasttemperatuur actief gerealiseerd. Het wordt dus niet kouder (= teeltvertraging) of warmer (= teeltversnelling) dan dit gemiddelde. Dit biedt de mogelijkheid om beter planmatig te telen dan bij een traditionele regeling. Daarbij staat het van tevoren niet vast wat de gemiddelde temperatuur of temperatuursom over een bepaalde periode zal zijn.

Voorbeeld: als over een integratieperiode van 5 dagen de gemiddelde kasttemperatuur 20 °C moet zijn, wordt het ook, extreme situaties of technische storingen daargelaten, 20 °C. Uitgedrukt in graaduren is dit: 5 (dagen) x 24 (uren per dag) x 20 (°C) = 2400 graaduur. Het CTI-programma realiseert deze gewenste temperatuur met het, gegeven de omstandigheden, laagst mogelijk energieverbruik. Bij de realisatie mag de temperatuur wél tijdelijk afwijken, bijvoorbeeld + of - 300 graaduren, maar deze afwijking wordt op een later en energetisch voordelig tijdstip, weer automatisch gecompenseerd.

Om te voorkomen dat er een verschil in temperatuursom (graaduursom) zou ontstaan tussen de twee behandelingen, waardoor de teelten niet meer onderling vergelijkbaar zouden zijn, werden de graaduursommen geregistreerd. De door de referentieregeling gerealiseerde som werd gekoppeld aan de CTI-regeling. Hierdoor bleef de gemiddelde kasttemperatuur voor beide behandelingen gelijk.

De instelrecepten voor de CTI-regeling werden op basis van literatuurstudie vastgesteld. Daarbij werd een veilige marge aangehouden. Tabel 2.1 toont een overzicht van de instellingen.

2.3 GEWASCONDENSATIEMODEL

Aan de programmatuur was een door het PBG en Hoogendoorn ontwikkeld 'gewascondensatiemodel' toegevoegd. Dit model berekent op basis van kasttemperatuur, globale straling, luchtvochtigheid, buis- en kasdektemperatuur de vruchttemperatuur en hoeveel graden het verschil is tussen vruchttemperatuur en dauwpunt. Het dauwpunt is de luchttemperatuur waarbij waterdamp gaat condenseren. Als de vruchttemperatuur daalt onder het dauwpunt treedt er condensatie op. De vruchten 'slaan nat'. Condensatie moet voorkomen worden omdat een nat gewas de groei van schimmels, o.a. Botrytis, stimuleert en de productkwaliteit vermindert. De vruchttemperatuur wordt gebruikt en niet de bladtemperatuur, omdat vruchten het traagst de luchttemperatuur volgen en het eerst gevaar lopen op nat slaan. De luchtlaag van enkele millimeters boven het blad is erg belangrijk. In die zone bevinden zich vrijwel altijd schimmelsporen die gaan kiemen als de RV ter plekke boven de 90% stijgt of als het blad nat slaat.

2.4 DEELNEMENDE BEDRIJVEN

Aan het onderzoek namen drie moderne praktijkbedrijven deel: een komkommerbedrijf, een paprikabedrijf en een tomatenbedrijf. De kassen waren van het 8 meter Venlo- tralie type met een goothoogte van 4.50 meter. De bedrijven waren uitgerust met een ECONOMIC-procescomputer van de firma Hoogendoorn.

2.4.1 Tomatenbedrijf

Kwekerij "Red Future" van Fa. Gebr. Kester te Wateringen

De proef werd uitgevoerd in een moderne Venlokas zonder energie scherm, oppervlakte ca. 18.000 m², bouwjaar 1998. De kas was door middel van een transparante plasticfoliewand in tweeën verdeeld: een referentie- en een CTI-deel. In elk deel was één telvak uitgezet waarin gewasmetingen werden verricht.. Geteeld werd het ras Espereo, zaaidatum 12/11/1999, geplant op 05/12/99. De proef startte op 22/02/00

GEWASWAARNEMINGEN

Aan het gewas werden de volgende waarnemingen verricht. Per telvak werden van 15 planten de trossen en vruchten genummerd. Wekelijks werden de bloei, zetting, uitgroei duur vruchten, bladlengte en stengelgroei genoteerd. Bij de oogst werd het aantal vruchten en het vruchtgewicht genoteerd. Uit deze gegevens werd de cumulatieve lengtegroei en de plantbelasting, het aantal vruchten per plant, gedurende de proef berekend.

2.4.2 Paprikabedrijf

Kwekerij "Omega" van Fa. Gebr. V/d/ Knaap te Wateringen

De proef werd uitgevoerd in een moderne Venlokas met energie scherm, oppervlakte 22.000 m², bouwjaar 1997. De kas was door middel van een transparante plasticfoliewand in tweeën verdeeld: een referentie- en een CTI-deel. In elk deel waren twee telvakken uitgezet, waarin gewasmetingen werden verricht. Geteeld werd het ras Fiësta, zaaidatum 25/10/99 en plantdatum 02/12/99.

De proef startte op 02/02/00.

GEWASWAARNEMINGEN

De volgende gewaswaarnemingen werden verricht: van tien planten per telvak werden genoteerd: de zetting, het aantal vruchten, de uitgroeiduur van de vruchten, de plantlengte, de oogst (aantal en gewicht) en de sortering. Uit deze gegevens werd de plantbelasting en het aantal vruchten per m² berekend.

2.4.3 Komkommerbedrijf

Kwekerij "Klein Ambacht" van Fa. C.D. de Jong in Dongen

De proef werd uitgevoerd in een moderne Venlokas met energiescherm, oppervlakte ca. 19.000m², bouwjaar 1998. De kas was door middel van een transparante plasticfoliewand in tweeën verdeeld: een referentie- en een CTI-deel. In elk deel waren twee telvakken uitgezet waarin gewasmetingen werden verricht. De proef startte op 18/01/00.

Er vonden tijdens de proef vier teelten plaats:

Teelt 1: geplant 09/12/99, ras Ventura, eerste oogst 24/01/00, laatste oogst 05/04/00

Teelt 2: geplant 06/04/00, ras Euphoria, eerste oogst 02/05/00, laatste oogst 13/06/00

Teelt 3: geplant 15/06/00, ras Euphoria, eerste oogst 05/07/00, laatste oogst 30/08/00

Teelt 4: geplant 02/09/00, ras Euphoria, eerste oogst 23/09/00, laatste oogst 27/11/00

GEWASWAARNEMINGEN

In ieder telvak stonden 20 planten waaraan de volgende metingen werden verricht: productie, aantal vruchten, en kwaliteitsklasse (sortering 1 en 2).

2.5 INSTELLING KASTEMPERATUUR BIJ REFERENTIE- EN CTI-REGELING

Bij gebruik van een CTI-regeling wijken de klimaatinstellingen duidelijk af van die bij een traditionele regeling. In tabel 2.1 op pagina 12 wordt een overzicht gegeven van de kasluchttemperatuur instellingen bij een traditionele regeling in het onderzoek REFERENTIEREGELING genoemd, zoals min of meer standaard in de praktijk en van de instellingen bij een CTI-regeling. Deze laatste vormden het uitgangspunt binnen het onderzoek op de drie bedrijven. In de bijlage achter in het verslag wordt per gewas nader ingegaan op de achtergronden van de instellingen.

Tabel 2.1 Kasklimaatinstellingen. Standaardinstellingen zoals in de praktijk gebruikelijk (referentie), uit de literatuur bekende temperatuurgrenzen en de daarop gebaseerde CTI-instellingen zoals in de proef als uitgangspunt zijn gebruikt.

Kasklimaatinstellingen	Tomaat	Paprika	Komkommer
Standaard praktijkinstellingen (referentie behandeling)			
Praktijk standaardinstellingen voor stoken	20/18 °C (Dag/nacht)	Start 22/22 °C (dag/Nacht), daarna 22/18 °C	Start 23/20 °C (Dag/Nacht)
Dode zone tussen stoken en ventileren	Winter: 4 – 6 °C Zomer: 0 – 1 °C	Winter: 6 °C Zomer: 0 – 1 °C	Winter: 4 – 8 °C Zomer: 1 – 2 °C
Proportionele bandvoor ventilatie (luchtramen)	Winter: 8 – 10 °C Zomer: 4 °C	Winter: 8 – 10 °C Zomer: 4 °C	Winter: 8 – 10 °C Zomer: 4 °C
Temperaturen zoals in de praktijk worden gerealiseerd bij standaard kasklimaatregelingen	Winter: 15 – 24 °C (bandbreedte 9) Zomer: 16 – 32 °C (bandbreedte 16)	Winter: 17 – 25 °C (bandbreedte 8) Zomer: 18 – 32 °C (bandbreedte 14)	Winter: 19 – 25 °C (bandbreedte 6) Zomer: 20 – 31 °C (bandbreedte 12)
CTI-instellingen (CTI-behandeling)			
Uit de literatuur bekende minimum en maximum temperatuurgrenzen waarbuiten blijvende gewasschade optreedt	13 – 30 °C enkele uren 7 °C of 37 °C	Winter: 13 – 27 °C zomer tot 32	10 – 32 °C
Advies CTI-instellingen (Bandbreedte) voor de proef (en de overige praktijk)	Winter: 14 – 25 °C (+ of – 1) Of 13 – 26 °C (+ of – 2) Zomer: tot 30 °C	Winter: 16 – 27 °C (+ of – 2) of 15 – 28 °C (+ of – 3) Zomer: tot 30 – 32 °C 300 tot 500 graaduren	Winter: 18 – 26 °C (+ of – 1) of 17 – 27 °C (+ of – 2) Zomer: tot 30 – 32 °C Niet bekend
Toelaatbare afwijking van de gewenste temperatuursort, afkomstig uit de literatuur	400 graaduren	300 tot 500 graaduren	Niet bekend
Advies voor de proef en overige praktijk	- 200 tot + 200 graaduren	- 200 tot + 200 graaduren	- 200 tot + 200 graaduren
Waarschijnlijk nog verantwoord	- 300 tot + 300 graaduren	- 300 tot + 300 graaduren	- 300 tot + 300 graaduren
Ter overweging	- 300 tot + 100 graaduren i.v.m. handhaven reserves ('vrije' suikers)	-	-
Integratieperiode uit onderzoek bekend	12 dagen	14 dagen	-
Maximale integratieperiode, advies voor proef en overige praktijk	7 dagen	7 dagen	3 tot 4 dagen bij grote bandbreedte 7 dagen bij kleine bandbreedte
Uitgroeiduur vrucht. Hoe langer de uitgroeiduur, hoe langer de integratieperiode mag zijn	42 – 70 dagen, seizoensafhankelijk	42 – 56 dagen, seizoensafhankelijk	10 – 20 dagen, seizoensafhankelijk
Veilige bandbreedte voor DIF uit onderzoek	< -2 tot > + 10 °C	- 4 tot + 8 °C	- 6 tot + 6 °C
Maximale bandbreedte voor DIF, advies voor proef	- 2 tot + 10 °C	- 2 tot + 8 °C	- 3 tot + 3 °C
Starten met de integrerende regeling	Als de zetting goed op gang is	Als de zetting goed op gang is	Als de eerste vruchten één week oud zijn
Opmerkingen	Start met een hoge temperatuur voor een snelle bladstrekking. Een hogere dag- dan nachttemperatuur aanhouden voor een goede vegetatieve groei. Etmaaltemperatuur verlagen als bloei gewenst is.	Start met een hoge temperatuur voor een snelle bladstrekking. Een hogere dag- dan nachttemperatuur aanhouden voor een goede vegetatieve groei. Etmaaltemperatuur verlagen als bloei gewenst is.	Terughoudend met temperatuurverschillen tot het gewas aan de draad is.

3 RESULTATEN

De resultaten worden in dit hoofdstuk per gewas behandeld, in de volgorde tomaat, paprika en komkommer.

3.1 TOMAAT

3.1.1 Kasklimaat en energiebesparing

Ingestelde kasklimaat

De proef ging op 17 februari van start met de volgende klimaatinstellingen (tabel 3.1.). Om een te dunne kop te voorkomen werd de ventilatietemperatuur dicht bij de stooktemperatuur gehouden.

Tabel 3.1 Basis klimaatinstellingen referentie (= traditionele) regeling bij tomaat.

Factor	Instelwaarde
Gewenste temperatuur	17,3 °C
Stralingsverhoging	1,0 °C
Begin stralingstraject	500 J/cm ²
Eind stralingstraject	800 J/cm ²
Minimum verwarmingstemperatuur	16,5/ 16,5 °C (dag/nacht)
Maximum verwarmingstemperatuur	22,0/22,0 °C (dag/nacht)
Maximale stijgsnelheid	1 °C per uur
Maximale daalsnelheid	5 °C per uur
Minimum buistemperatuur	35 °C (dag/nacht)
Maximum buistemperatuur	65 °C (dag/nacht)
Ventilatietemperatuur start	+ 0,5 °C (dag/nacht), bij dag licht + 1,0

Bij de CTI-behandeling werd geen negatieve DIF ingesteld en werd een integratieperiode van 7 dagen aangehouden.

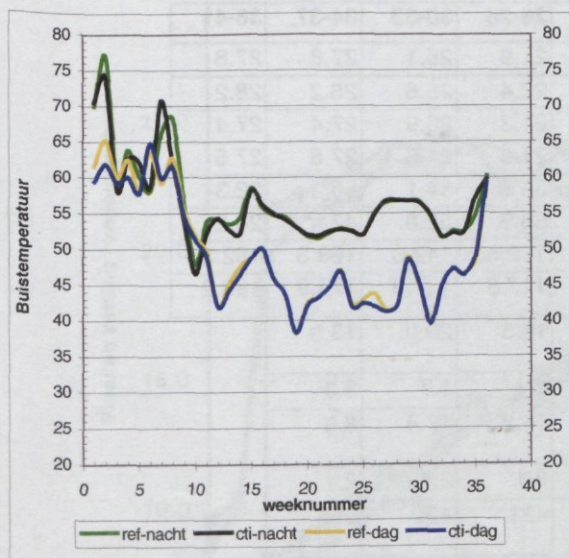
Gerealiseerde kasklimaat

De toegemeten speelruimte (bandbreedte) voor het CTI-programma werd door de teler uit vrees voor onbalans tussen de vegetatieve- en de generatieve groei klein gehouden, 1 – 2 °C. Hierdoor traden er slechts geringe verschillen tussen de CTI- en de referentie-behandeling op. Tabel 3.2 geeft een overzicht van een aantal klimaatgrootheden tijdens de teelt. De tabel laat slechts geringe verschillen zien. Bij de CTI-regeling is de kastemperatuur in de periode maart – juli enkele tienden graden lager dan de referentie en in augustus één tiende graad hoger. Ook buistemperatuur en raamstand verschillen in die periode nauwelijks tussen de behandelingen. Alleen in de eerste twee weken van september treden er duidelijke verschillen op. Het verloop van de buistemperatuur overdag en 's nachts is weergegeven in figuur 3.1. Vanaf de start van de proef in week 7 vallen de temperatuurlijnen van referentie en CTI vrijwel samen. Figuur 3.2 toont het verloop van de kastemperatuur en het door het ECP-model berekende gasverbruik. De lijnen vallen vrijwel samen. De energiebesparing per maand is weergegeven in figuur 3.3. Het verschil in energieverbruik is zeer gering; van februari tot eind oktober bedraagt de besparing nog geen 2%. De gerealiseerde CO₂-concentratie in de kaslucht toont een duidelijke samenhang met de ventilatie en dus met het jaargetijde. Naarmate de temperaturen stijgen, wordt er meer geventileerd en daalt de CO₂-concentratie in de kas. Tussen de behandelingen is er geen verschil in CO₂-concentratie.

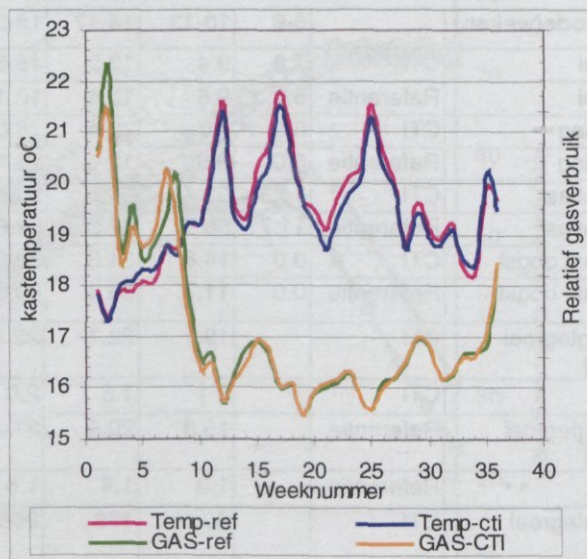
Tabel 3.2. Gerealiseerde klimaatgrootheden in de referentie afdeling en de CTI-afdeling.

	januari		februari		maart		april		Mei		juni		juli		augustus		Tot ½ september	
	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	Cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti
Temp kas °C																		
Dag	18,9	19,1	19,5	19,8	21,0	20,9	21,3	21,0	20,4	20,1	21,5	21,2	20,5	20,2	20,0	20,1	16,9	15,6
Nacht	16,7	16,6	17,2	17,1	18,6	18,5	19,3	19,0	18,9	18,6	19,0	18,7	18,1	18,0	18,0	18,1	15,4	14,0
Etmaal	17,8	17,8	18,4	18,5	20,0	19,9	20,5	20,2	19,8	19,5	20,4	20,2	19,4	19,2	18,9	19,0	16,0	14,7
Temp. buis °C																		
Dag	66	63	64	64	51	50	50	50	44	44	46	45	46	46	47	47	44	37
Nacht	71	70	67	67	56	54	59	58	55	55	56	56	59	60	56	56	46	35
Etmaal	68,7	66,8	65,2	65,3	53,0	52,1	53,6	53,2	48,2	48,2	50,0	49,7	52,5	52,5	51,7	52,0	45,0	35,8
Raam stand %																		
Dag	3,2	2,5	8	8	36	36	38	38	36	33	80	78	69	68	25	24	6	7
Nacht	0,0	0,0	0	0	16	17	11	12	15	14	69	68	60	60	14	14	3	3
Etmaal	1,5	1,3	4	4	28	28	27	28	28	25	75	74	65	64	19	19	4	4
CO2 dpm																		
Dag	1135	1135	1034	1034	659	659	552	552	496	495	422	422	453	453	768	771	905	905

Figuur 3.1 Buistemperaturen



Figuur 3.2 Kastemperatuur en gasverbruik

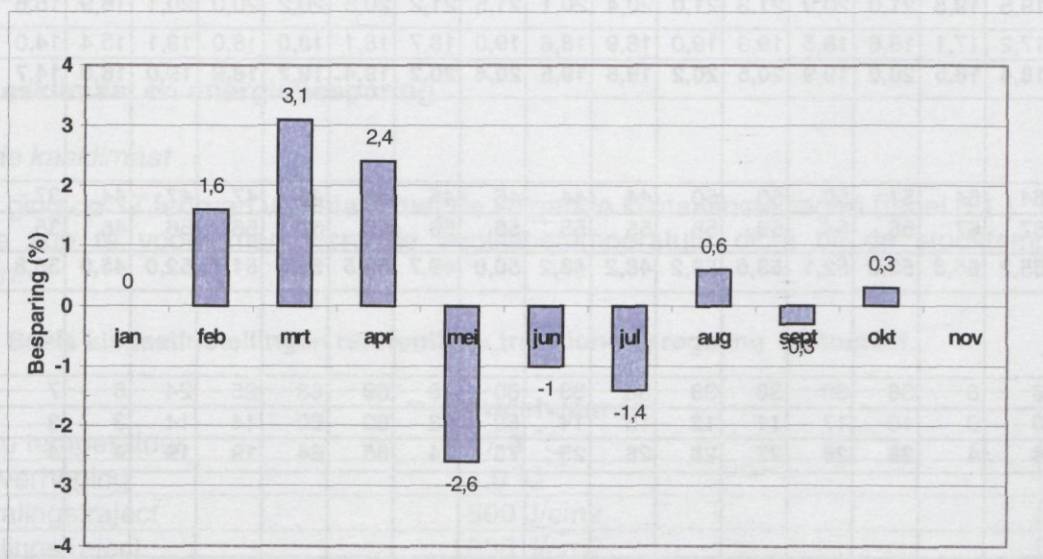


3.1.2. Gewas en productie

In de telvakken werden wekelijks de volgende plantmetingen verricht: bloei, zetting, plantlast (aantal vruchten per plant), aantal geogste vruchten, lengtegroei, cumulatieve groei (plantlengte) en de bladlengte. De resultaten van de metingen staan samengevoegd tot perioden van vier weken in tabel 3.3. Bladlengte, stengelgroei per week en cumulatieve lengtegroei staan in figuur 3.4. Het verloop van bloei, zetting en plantlast staan in figuur 3.5. De verschillen tussen de twee

behandelingen zijn zeer gering. Tot week 30 is de plantlast van de referentie iets hoger dan van de CTI en daarna iets lager. De referentie rijpt iets sneller af. Op de totale oogst heeft het nauwelijks effect: 198,2 vruchten per m² voor de referentie en 192,3 voor CTI. Wel blijft de referentie-plant iets achter in lengte bij de CTI-plant.

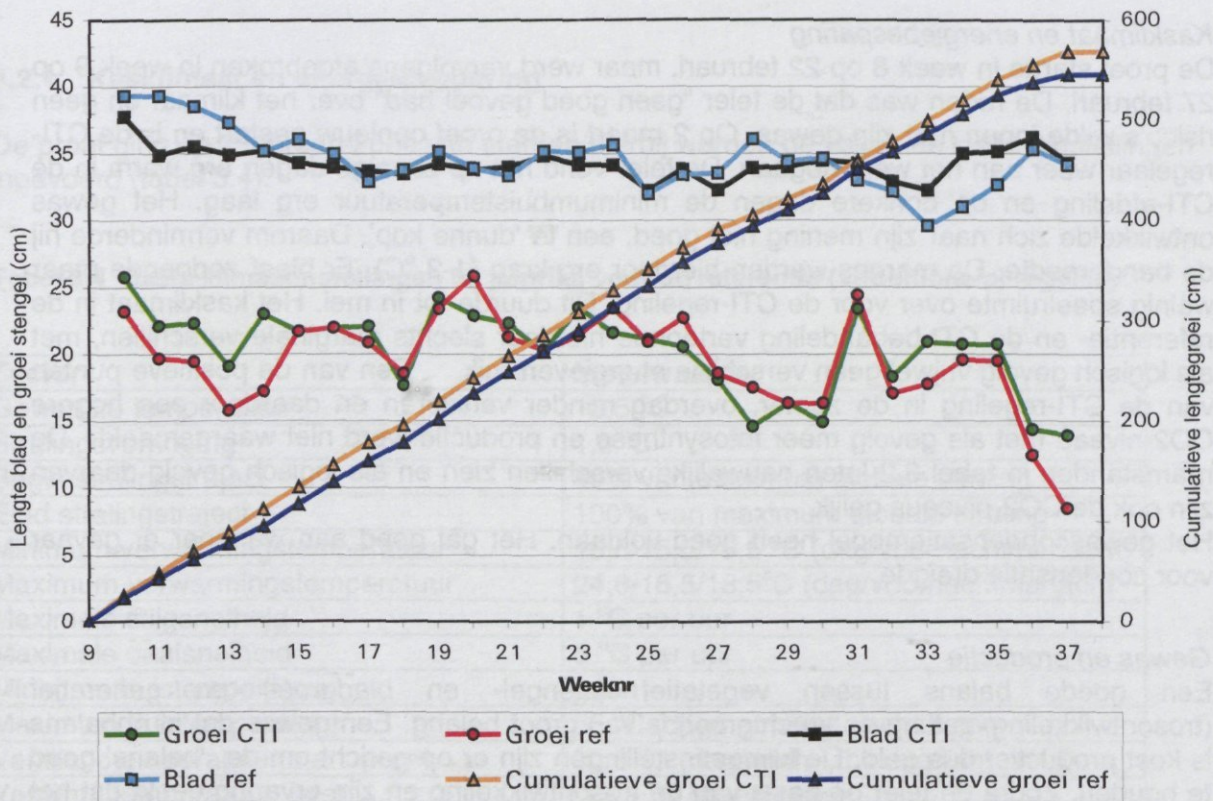
Figuur 3.3 Energiebesparing per maand voor de CTI-afdeling in procenten van de referentieafdeling.



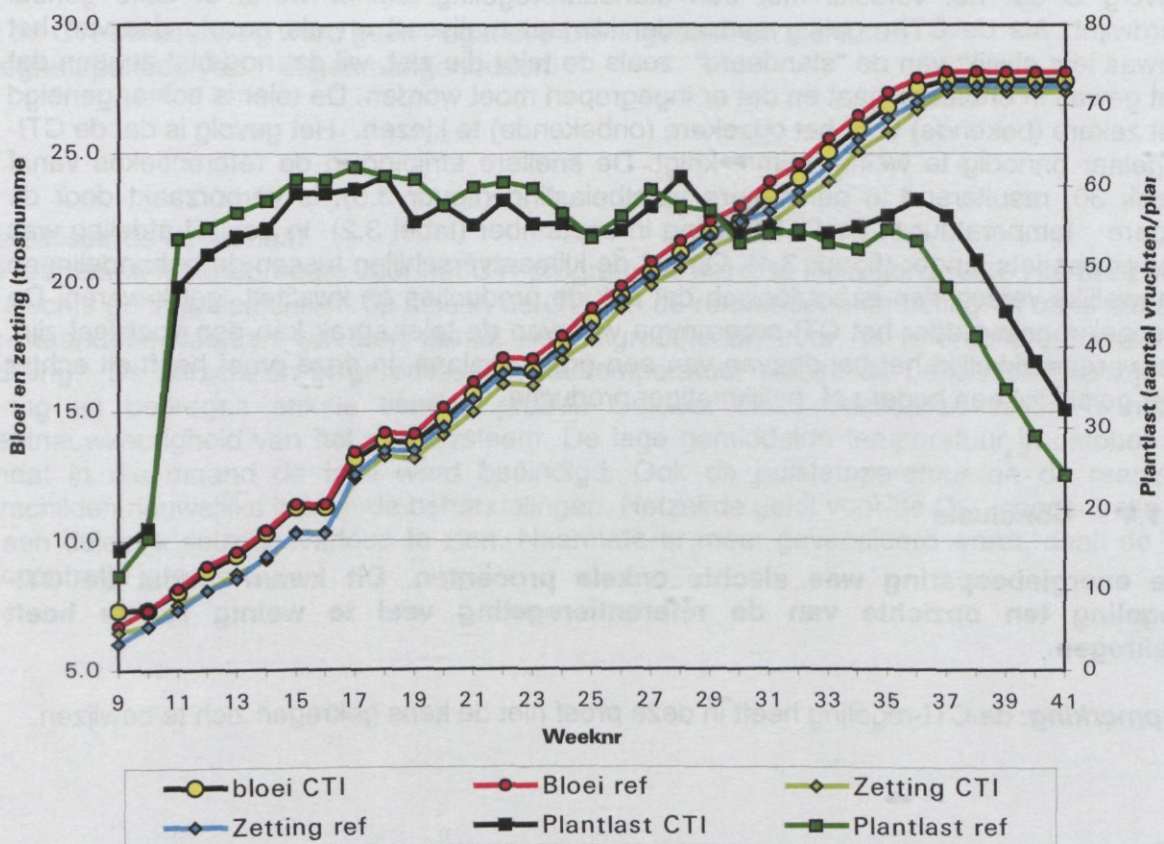
Tabel 3.3 Gewaswaarnemingen tomaat: bloei, zetting, plantlast, aantal geogste vruchten, lengtegroei per week en in totaal en de bladlengte per periode van vier weken

Periode(weken)		6-9	10-13	14-17	18-21	22-25	26-26	30-33	34-37	38-41
Bloei	CTI	7.3	9.4	13.2	15.6	18.5	21.9	25.1	27.8	27.8
Bloei	Referentie	6.7	9.6	13.4	16.1	19.0	22.4	25.6	28.2	28.2
Zetting	CTI	6.5	8.7	12.4	15.0	17.8	21.3	23.9	27.4	27.4
Zetting	Referentie	6.0	8.5	12.6	15.4	18.3	21.8	24.5	27.6	27.6
Plantlast	CTI	14.9	53.7	59.6	55.1	53.8	56.8	54.1	56.3	32.3
Plantlast	Referentie	11.7	56.7	62.3	59.8	53.5	56.9	52.8	47.4	24.2
Totaal oogst	CTI	0.0	14.8	34.6	59.2	86.0	112.8	142.8	168.3	192.3
Totaal oogst	Referentie	0.0	11.7	36.4	60.5	90.8	117.8	147.9	174.9	198.2
Lengtegroei (cm)	CTI		19.1	22.1	22.3	21.2	16.3	20.9	13.9	
S.D.	CTI		2.1	1.5	2.0	1.3	2.8	1.7	3.3	
Lengtegroei (cm)	Referentie		15.8	20.9	21.3	21.0	16.3	17.8	8.5	
S.D.	Referentie		1.8	1.4	1.6	1.2	2.1	2.4	2.1	
Totalegroei (cm)	CTI		89	178	265	352	421	499	569	
Totalegroei (cm)	Referentie		78	160	249	335	410	486	546	
CTI- langer			14%	11%	6%	5%	3%	3%	4%	
Bladlengte	CTI		34.9	33.7	34.0	32.3	34.0	32.3	34.3	
S.D.	CTI		2.5	1.4	1.4	1.4	3.3	2.2	2.8	
Bladlengte	Referentie		37.3	32.9	33.3	32.0	34.4	29.6	34.2	
LengteS.D.	Referentie		1.9	1.8	1.6	1.5	3.7	3.0	2.9	

Figuur 3.4 Tomaat, bladlengte (cm), stengelgroei per week (cm) en cumulatieve lengtegroei (cm) voor CTI- en voor referentierogeling



Figuur 3.5 Tomaat, bloei, zetting en plantbelasting voor CTI- en referentieregeling



3.1.3 Discussie

Kasklimaat en energiebesparing

De proef startte in week 8 op 22 februari, maar werd vervolgens afgebroken in week 9 op 27 februari. De reden was dat de teler “geen goed gevoel had” over het klimaat en geen risico's wilde lopen met zijn gewas. Op 2 maart is de proef opnieuw gestart en is de CTI-regelaar weer aan het werk gegaan. De teler vond het op zonnige dagen erg warm in de CTI-afdeling en op donkere dagen de minimumbuistemperatuur erg laag. Het gewas ontwikkelde zich naar zijn mening niet goed, een te ‘dunne kop’. Daarom verminderde hij de bandbreedte. De marges werden hierdoor erg krap (1-2 °C). Er bleef zodoende maar weinig speelruimte over voor de CTI-regeling. Dit duurde tot in mei. Het kasklimaat in de referentie- en de CTI-behandeling vertoonde hierdoor slechts marginale verschillen, met als logisch gevolg vrijwel geen verschil in energieverbruik. Een van de positieve punten van de CTI-regeling in de zomer, overdag minder ventileren en daardoor een hogere CO₂-niveau met als gevolg meer fotosynthese en productie werd niet waargemaakt. De raamstanden in tabel 3.2 laten nauwelijks verschillen zien en als logisch gevolg daarvan zijn ook de CO₂-niveaus gelijk.

Het gewascondensatiemodel heeft goed voldaan. Het gaf goed aan wanneer er gevaar voor condensatie dreigde.

Gewas en productie

Een goede balans tussen vegetatief (stengel- en bladgroei) en generatief (trosontwikkeling, zetting en vruchtgroei) is van groot belang. Een gewas dat in onbalans is kost productie, dus geld. De klimaatinstellingen zijn er op gericht om de ‘balans’ goed te houden. Zodra de teler op basis van de trosontwikkeling en zijn ervaring denkt dat het gewas uit balans dreigt te gaan, grijpt hij in en verandert de instellingen. Bij de CTI-regeling komt dat neer op het verminderen van de ruimte voor het CTI-programma. Het gevolg is dat het verschil met een standaardregeling kleiner wordt of zelfs geheel verdwijnt. Als de CTI-regeling een ander klimaat realiseert en als gevolg daarvan het gewas iets afwijkt van de “standaard” zoals de teler die ziet, wil dat nog niet zeggen dat het gewas in onbalans gaat en dat er ingegrepen moet worden. De teler is echter geneigd het zekere (bekende) voor het onzekere (onbekende) te kiezen. Het gevolg is dat de CTI-regelaar onnodig te weinig ruimte krijgt. De snellere afrijping in de referentiekas vanaf week 30, resulterend in een lagere plantbelasting (figuur 3.5), is veroorzaakt door de lagere temperatuur in de CTI-afdeling in september (tabel 3.2). In de CTI-afdeling was het gewas iets langer (figuur 3.4). Omdat de klimaatverschillen tussen de behandelingen nauwelijks verschillen is het logisch dat ook de producties en kwaliteit gelijk waren. De rustiger regeling door het CTI-programma waarvan de teler sprak kan een voordeel zijn, het vergemakkelijkt het handhaven van een goede balans. In deze proef heeft dit echter niet geleid tot een hogere of gelijkmatiger productie.

3.1.4 Conclusie

De energiebesparing was slechts enkele procenten. Dit kwam omdat de CTI-regeling ten opzichte van de referentieregeling veel te weinig ruimte heeft gekregen.

Opmerking: de CTI-regeling heeft in deze proef niet de kans gekregen zich te bewijzen.

3.2. PAPRIKA

3.2.1 Kasklimaat en energiebesparing

De proef ging op 2 februari 2000 van start en hierbij werden de volgende klimaatinstellingen ingevoerd (tabel 3.4).

Tabel 3.4 Basis klimaatinstellingen bij paprika voor de referentie (=traditionele) regeling

Factor	Instelwaarde
Gewenste temperatuur	18,5 °C
Stralingsverhoging	1,0 °C
Begin stralingstraject	40% van maximum globale straling
Eind stralingstraject	100% van maximum globale straling
Minimum verwarmingstemperatuur	16,5/15,5/16,5 °C (dag/voornacht/nanacht)
Maximum verwarmingstemperatuur	24,0/16,5/18,5 °C (dag/voornacht/nanacht)
Maximale stijgsnelheid	1 °C per uur
Maximale daalsnelheid	5 °C per uur
Minimum buistemperatuur	geen
Maximum buistemperatuur	55 °C (dag/nacht) bij zacht weer
Ventilatietemperatuur start proef	30,0 °C (dag/nacht), bij dag licht + 1,0
Ventilatietemperatuur later	1 - 3 °C boven stoken
Minimum raamstand	Enkele % bij hoge luchtvochtigheid

Bij de CTI-behandeling werd geen negatieve DIF ingesteld en werd een integratieperiode van 7 dagen aangehouden.

Gerealiseerde kasklimaat

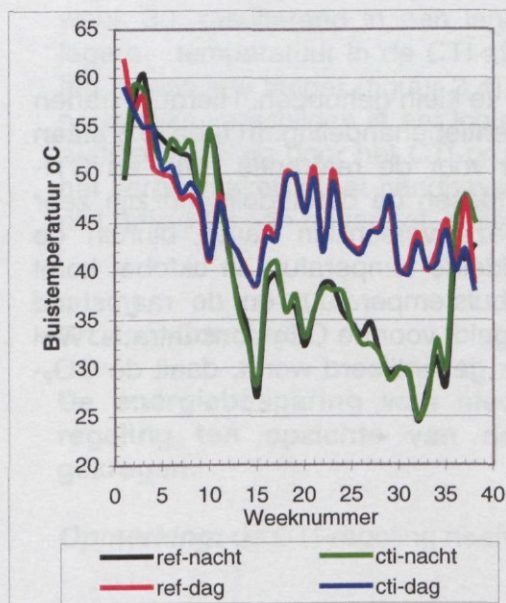
De toegemeten bandbreedte voor het CTI-programma werd te klein gehouden. Hierdoor traden er slechts geringe verschillen op tussen de CTI- en de referentiebehandeling. In tabel 3.5 staan de maandgemiddelden van een aantal klimaatgrootheden voor de referentie (ref)- en CTI-afdeling. De verschillen in gerealiseerde kastemperatuur tussen de behandelingen zijn zeer gering en bedragen enkele tienden graden Celcius. Deze verschillen vallen binnen de meetnauwkeurigheid van het meetsysteem. De lage gemiddelde temperatuur in oktober komt omdat in die maand de teelt werd beëindigd. Ook de buistemperatuur en de raamstand verschilden nauwelijks tussen de behandelingen. Hetzelfde geldt voor de CO₂-concentratie. Wel is een duidelijk seizoensverloop te zien. Naarmate er meer geventileerd wordt, daalt de CO₂-concentratie in de kas.

Tabel 3.5 Gerealiseerde kasklimaatgrootheden in de referentie- en CTI-afdeling.

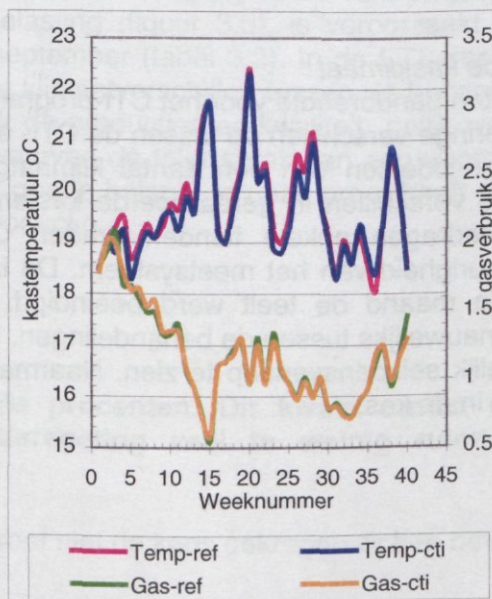
	januari		februari		maart		april		mei		juni		juli		aug.		sept.		oktober	
	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti
Kastemp. °C																				
Dag	20,5	20,4	20,1	20,1	20,9	20,9	21,7	21,7	22	21,9	21	20,8	22	21,8	20,7	20,8	21,5	21,4	13,3	12,9
Nacht	18,0	17,7	18,0	17,7	18,2	18,0	18,4	18,4	18,9	18,8	18,0	17,8	17,9	17,6	16,7	16,8	18,0	18,2	11,3	11
Etmaal	19,1	18,9	19,0	18,9	19,7	19,6	20,3	20,3	20,8	20,7	19,8	19,6	20,1	19,9	18,8	18,8	19,5	19,7	12,1	11,8
Buistemp. °C																				
Dag	60	59	51	52	46	46	43	43	51	51	46	46	46	46	44	43	44	43	34	30
Nacht	58	58	55	55	48	48	36	37	36	37	38	38	32	32	29	30	45	48	23	23
Etmaal	58,8	58,6	53,1	53,6	47,1	46,9	40,2	40,3	45,6	45,5	42,6	42,3	39,8	39,5	36,6	36,5	44,6	45,5	27,8	25,7
Raamstand %																				
Dag	0,6	0,6	1,8	1,7	7,8	6,7	35	33	45	43	41	40	78	80	38	35	3	2	8	8
Nacht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7	7	14	14	17	15	59	57	29	26	2	2	5	5
Etmaal	0,3	0,3	0,9	0,9	4,3	3,7	23	22	33	32	31	30	69	70	33	30	3	2	6	6
CO2 dpm																				
Dag	1073	1073	976	976	888	888	578	577	500	500	500	500	422	426	485	485	787	787	401	401

In figuur 3.6 is het verloop van de buistemperatuur overdag en 's nachts weergegeven. De lijnen van de twee behandelingen vallen vrijwel samen. Hetzelfde geldt ook voor de lijnen die het verloop van de kasttemperatuur weergeven en het door het ECP-model berekende gasverbruik (figuur 3.7).

Figuur 3.6 Gerealiseerde buistemperatuur dag en nacht

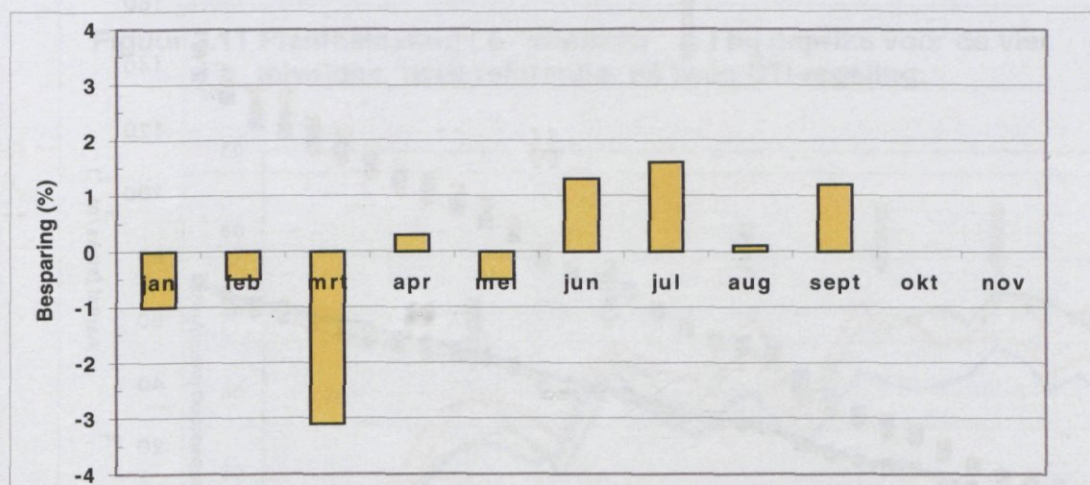


Figuur 3.7 Kasttemperatuur (etmaal) en gasverbruik



De gerealiseerde energiebesparing per maand is weergegeven in figuur 3.8. Het verschil is miniem en komt over de periode februari tot en met oktober uit op - 0,3 %.

Figuur 3.8 Energiebesparing bij paprika, per maand voor de CTI-afdeling in procenten van de referentieafdeling



3.2.2 Gewas en productie

In de telvakken werden wekelijks de volgende gewaswaarnemingen verricht: plantlengte, zetting, uitgroeiduur, aantal geoogste vruchten, sortering en vruchtgewicht. Tabel 3.6 geeft een totaal overzicht van deze metingen. De verschillen tussen de referentie en de CTI-behandeling zijn zeer gering en zeker niet betrouwbaar. Het productieverloop staat in figuur 3.9. De figuur laat zien dat de verschillen tussen de behandelingen zeer gering zijn.

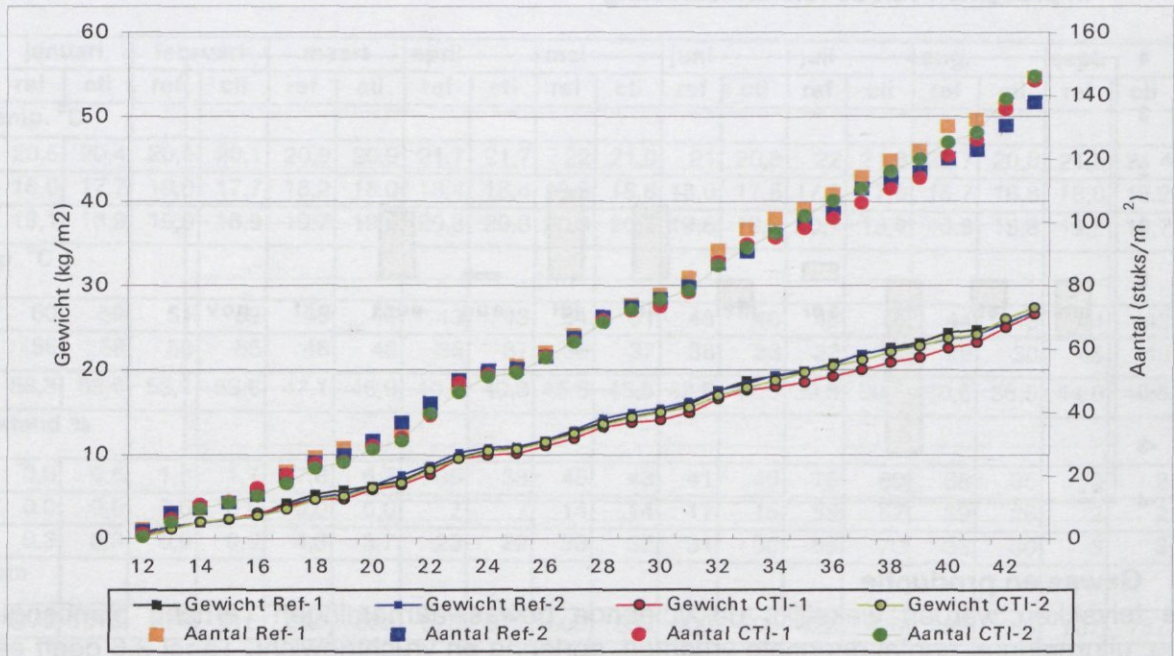
Tabel 3.6. Productiegegevens paprika per telvak en gemiddeld voor de referentie en de CTI-behandeling: totaal vruchtgewicht per m², aantal vruchten per m², gemiddeld vruchtgewicht (GVG), gewichtssortering, klasse 2, plantlengte bij het einde van de teelt en het totaal aantal gezette vruchten.

Telvak	Gewicht	Stuks	GVG	Uitgroeiduur	55	65	75	85	95	kl2
	kg/m ²	stuks/m ²	g/vrucht	weken	% tov tot	% tov tot	% tov tot	% tov tot	% tov tot	% tov tot
Ref-1	26.97	145.6	185	7.4	0.2%	4.0%	35.6%	51.2%	9.0%	0.0%
Ref-2	26.93	137.9	195	7.3	0.2%	3.7%	25.1%	57.8%	13.2%	0.0%
CTI-1	26.59	144.6	184	7.2	0.2%	6.4%	30.3%	54.4%	8.6%	0.0%
CTI-2	27.34	145.9	187	7.0	0.4%	3.3%	31.6%	53.3%	11.2%	0.2%
Gemid. Ref.	26.95	141.8	190	7.3	0.2%	3.8%	30.3%	54.5%	11.1%	0.0%
Gemid. CTI	26.97	145.3	186	7.1	0.3%	4.9%	30.9%	53.9%	9.9%	0.1%
	Lengte einde teelt (cm)				Zetting tot de laatste week (aantal per m ²)					
Referentie	278.7				142.7					
CTI	283.7				147.5					

Legenda:

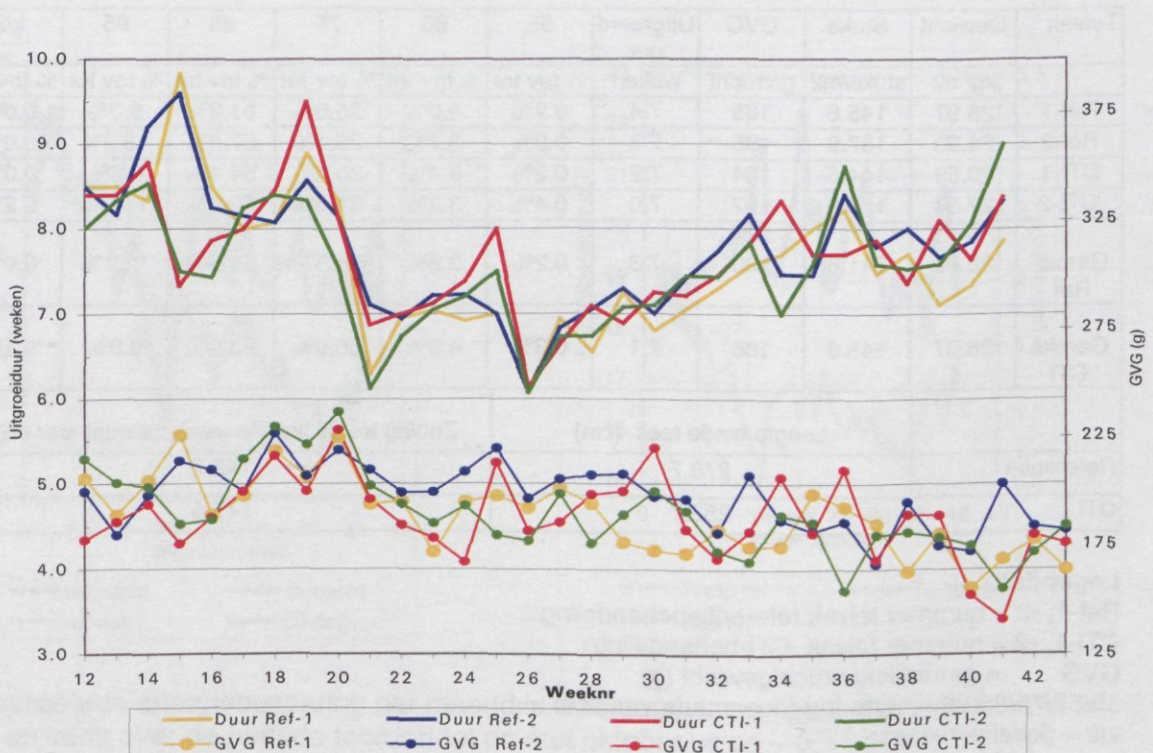
- Ref-1, -2 = nummer telvak referentiebehandeling
- CTI-1, -2 = nummer telvak CTI-behandeling
- GVG = gemiddeld vruchtgewicht (g)
- 55/65/75/85/95 = sortering (doorsnede vrucht in mm)
- kl2 = (kwaliteit)klasse 2

Figuur 3.9 Productieverloop paprika: totaalgewicht (kg) en totaal aantal vruchten per m² voor de referentie (ref) en de CTI-regeling



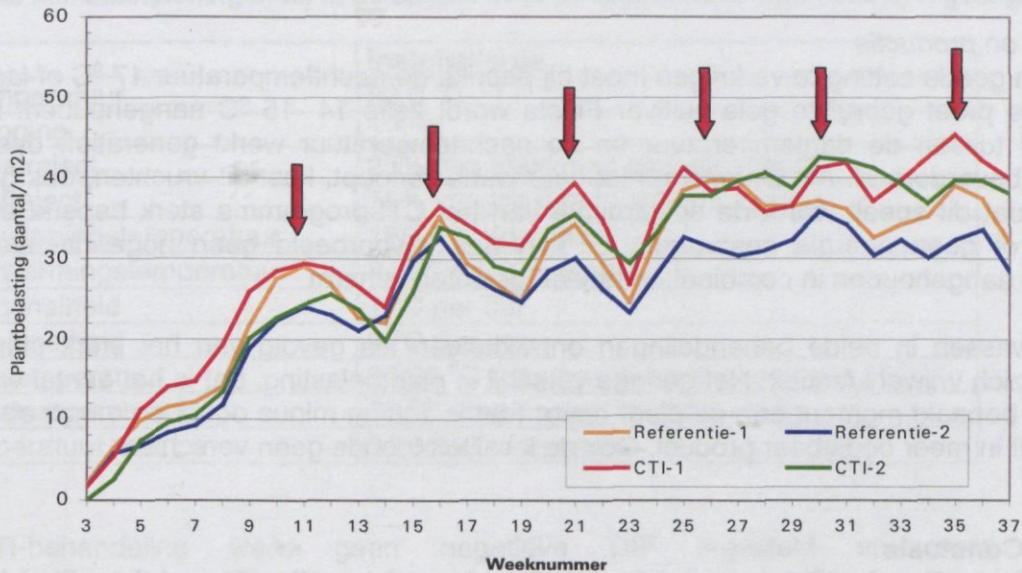
De uitgroeiduur in weken vanaf de zetting tot aan de oogst is weergegeven in figuur 3.10 evenals het gemiddeld vruchtgewicht. De spreiding binnen de behandelingen is vaak groter dan tussen de behandelingen. Er treden dan ook geen betrouwbare verschillen op.

Figuur 3.10 Paprika uitgroeiduur in weken van af zetting en het gemiddeld vruchtgewicht. Voor de beide telvelden van referentie- en CTI-regeling



De plantbelasting, uitgedrukt in het aantal vruchten per m² vertoont tot week 17 weinig verschillen tussen de behandelingen, daarna ontstaat er een verschil in het voordeel van de CTI-regeling (figuur 3.11).

Figuur 3.11 Plantbelasting (6 'vluchten' ↓) bij paprika voor de vier telvelden, twee referentie- en twee CTI-regeling.



3.2.3 Discussie

Een paprika is geneigd om in vluchten (golven) te produceren. Dit komt door een schommeling in de plantbelasting. Hierdoor ontstaat een onbalans tussen de vegetatieve en generatieve groei van de plant. In figuur 3.11 is zo'n patroon zichtbaar. Er zijn 6 golven te onderscheiden. Na week 23 vlakken de 'golven' in drie van de vier telvakken wat af. Om een zo gelijkmatige mogelijke plantbelasting te krijgen stuurde de teler het klimaat sterk op basis van zetting en gewasontwikkeling. Hij deed dit in beide behandelingen. Als gevolg hiervan kreeg de CTI-regeling maar beperkte speelruimten. Hierdoor waren de klimaten in beide behandelingen nauwelijks verschillend. Dit vertaalde zich weer in een gelijke gewasopbouw en geen verschillen in productie tussen de behandelingen. De kilo- en stuksproductie, vruchtgewicht, uitgroei duur, sortering, gewas lengte en zetting waren nagenoeg gelijk.

In de proef werd geen energie bespaard. Tot april was de besparing zelfs iets negatief. Vanaf april was de besparing, met uitzondering van mei, positief of nul. Hiervoor zijn enkele oorzaken aan te geven, die alle in de proef hebben meegespeeld.

1. In de referentie-afdeling zijn door de teler 'handmatig' CTI-principes toegepast. De maximumbuis temperatuur bijvoorbeeld was lager begrensd dan in de praktijk gebruikelijk is. Hierdoor werden energiepieken afgevlakt en uiteraard met name bij koud weer op energie bespaard. Echter, de referentie was hierdoor geen representatieve praktijkreferentie meer.
2. De teler hield een temperatuurregiem aan dat duidelijk laag is ten opzichte van de geldende praktijk. De teler is ten opzichte van zijn collega's een 'koude' teler. Hij gebruikt in de referentie afdeling 5-10% minder gas dan wat gemiddeld wordt gebruikt. Dit komt mede door de gebruikte cultivar (Fiësta). Hierdoor zijn de klimaatinstellingen 'krapper' dan gemiddeld voor paprika gebruikelijk is. Het gevolg hiervan is ook dat er minder mogelijkheden zijn voor het CTI-programma om energie te besparen.
3. Een overschatting tijdens het begin van de proef door het CTI-programma van de zonnearmte. Het gevolg hiervan was dat er een lagere temperatuur werd gerealiseerd dan verwacht en er

meer moest wordt bijgestookt op ongunstige momenten om de berekende stooklijn te realiseren. Dit heeft alleen in de eerste maanden van de teelt gespeeld. Het programma is op dit punt aangepast. De besparingen werden daarna iets positief (tabel 3.6).

Samenvattend kan gesteld worden dat het CTI-programma in vergelijking met de gemiddelde praktijk niet voldoende kans heeft gekregen om goed uit de verf te komen en dat door handmatig bijstellen de referentie afdelingen evenveel (weinig) energie verbruikt heeft als de CTI-afdeling.

Gewas en productie

Om een goede zetting te verkrijgen moet bij paprika de nachttemperatuur 17 °C of lager zijn. Bij de in de proef gebruikte gele cultivar Fiësta wordt zelfs 14 -15 °C aangehouden. Een groter verschil tussen de dagtemperatuur en de nachttemperatuur werkt generatief, dus bloei- en zetting bevorderend. Als de zetting niet naar wens verloopt, kost dit vruchten, dus geld. Op de dagen dat dit speelt wordt de speelruimte van het CTI-programma sterk beperkt en wordt er weinig of geen energie bespaard. Er kan dan bijvoorbeeld geen hoge nachttemperatuur worden aangehouden in combinatie met een gesloten scherm.

De gewassen in beide behandelingen ontwikkelden als gevolg van het sterk sturen op het gewas zich vrijwel identiek. Het geringe verschil in plantbelasting, dat is het aantal vruchten dat op een bepaald moment aan de plant hangt (dat is zetting minus oogst en minus abortie), uitte zich niet in meer oogstbaar product. Ook de kwaliteit toonde geen verschillen.

3.2.4 Conclusie

De CTI-regeling heeft ten opzichte van de referentieregeling te weinig vrijheid gekregen en er zijn CTI-principes toegepast bij de referentieregeling. Hierdoor werd deze een min of meer 'verkapt' CTI-regeling. Er was dus eigenlijk geen sprake van een echte proef. Er traden daardoor geen verschillen op tussen de behandelingen en er werd geen energie bespaard.

Opmerking: Het blijkt dat de principes waarop CTI is gebaseerd in de praktijk goed werken. Het energieverbruik van het bedrijf ligt laag ten opzichte van wat voor de paprika gebruikelijk is.

3.3 KOMKOMMER

3.3.1 Kasklimaat en energiebesparing

De proef ging op 18 januari 2000 van start met de volgende klimaatinstellingen (tabel 3.7).

Tabel 3.7 Basis klimaatinstellingen bij komkommer voor de referentie (= traditionele) regeling

Factor	Instelwaarde
Gewenste temperatuur	20,0 °C
Stralingsverhoging	1,5 °C
Begin stralingstraject	25% van maximum globale straling
Eind stralingstraject	75% van maximum globale straling
Minimum verwarmingstemperatuur	18/18 °C (dag/nacht)
Maximum verwarmingstemperatuur	24,5/24,5 °C (dag/nacht)
Maximale stijgsnelheid	1 °C per uur
Maximale daalsnelheid	2 °C per uur
Minimum buistemperatuur	35/25 °C (dag/nacht) op straling naar 40 °C
Maximum buistemperatuur	55 °C (dag/nacht), bij zacht weer
Ventilatietemperatuur start	30,0/30,0 dag/nacht

Bij de CTI-behandeling werd geen negatieve DIF ingesteld en werd een integratieperiode van 5 dagen aangehouden.

Gerealiseerd kasklimaat

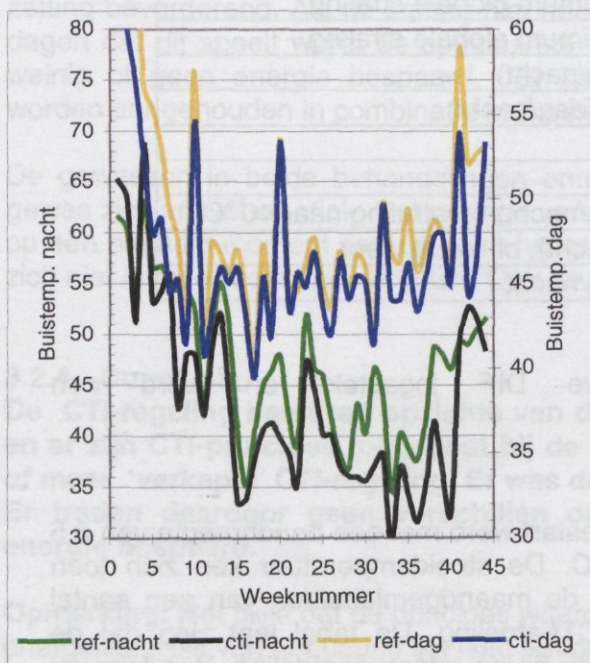
De CTI-regeling kreeg op dit bedrijf volop de ruimte. Gestart werd met een bandbreedte van 6,5 °C, in de tweede week van maart vergroot tot 8 °C. De stooktemperatuur kon zich toen bewegen tussen 18 °C en 26 °C. In tabel 3.8 staan de maandgemiddelden van een aantal klimaatgrootheden voor de referentie(ref) – en de CTI-afdeling. De tabel laat zien dat de nachttemperaturen bij de CTI –afdeling lager liggen dan bij de referentieafdeling. Van februari tot en met oktober is het verschil gemiddeld (0,5 °C). Het etmaalgemiddelde verschilt over deze periode 0,2 °C.

Tabel 3.8 Gerealiseerde kasklimaatgrootheden in de referentie- en CTI-afdeling

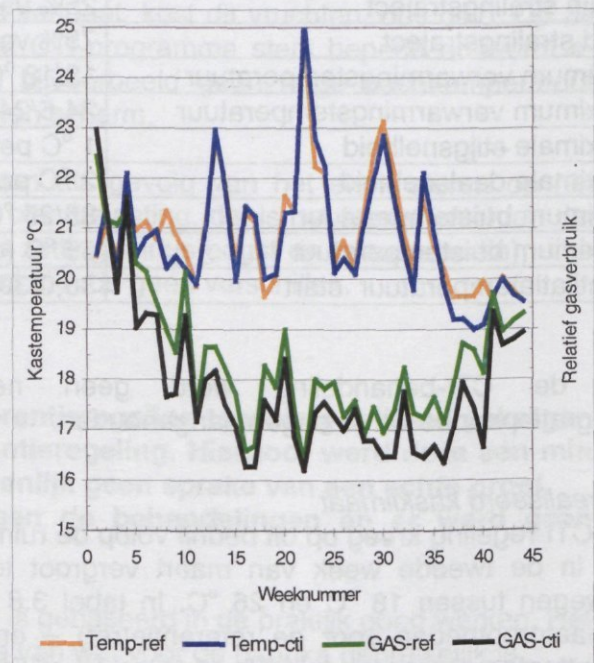
	februari		Maart		april		mei		juni		juli		augustus		september		oktober	
	ref	cti	ref	Cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti	ref	cti
Kasttemperatuur																		
Dag	22,4	22,0	22,2	22,2	22,7	23,0	21,8	22,2	23,4	23,7	23,1	23,1	22,4	22,8	21,2	21,5	20,8	20,5
Nacht	20,0	19,9	19,8	19,4	19,1	18,7	19,0	18,5	20,0	19,7	20,0	19,4	19,7	19,0	18,6	17,3	19,0	18,9
Etmaal	21,1	20,9	21,0	20,9	21,2	21,1	20,7	20,7	22,1	22,2	21,8	21,5	21,1	21,0	19,8	19,3	19,8	19,6
Buistemperatuur																		
Dag	55	50	50	47	46	45	49	48	47	46	48	47	49	47	50	48	55	51
Nacht	60	58	53	50	43	39	47	42	47	43	41	37	43	36	46	37	52	49
Etmaal	57,7	54,2	51,3	48,5	45,0	42,4	48,5	45,4	47,2	45,2	45,1	43,1	45,9	42,0	47,7	42,5	53,0	49,8
Raamstand %																		
Dag	0,1	0,1	3,9	4,4	34	34	27	26	32	30	42	43	38	33	14	12	2	1
Nacht	0,0	0,0	0,1	0,1	16	19	7	9	18	21	21	30	10	16	8	13	0	0
Etmaal	0,1	0,1	2,1	2,5	26	27	19	19	26	27	33	38	25	25	11	12	1	1
CO₂ dpm																		
Dag	652	652	618	617	528	529	509	509	501	501	532	533	509	510	676	678	718	719

De buistemperatuur is bij de CTI-afdeling duidelijk lager dan bij de referentieafdeling. Overdag is het verschil gemiddeld 2 °C en 's nachts 4,5 °C. In figuur 3.12 is het verloop van de buistemperatuur overdag en 's nachts gedurende de proef weergegeven. De CTI-afdeling ligt duidelijk onder de referentie. De lagere buistemperatuur resulteert in een duidelijk lager gasverbruik wat zichtbaar wordt in figuur 3.13 (rechter as). In de figuur wordt het, via een model berekende, relatieve gasverbruik weergegeven. De lijnen die de gemiddelde gemeten etmaaltemperatuur weergegeven in figuur 3.13 liggen dicht bij elkaar en vallen deels samen. Vanaf april tot oktober ventileert de CTI-afdeling iets meer in de nacht (tabel 3.8). Overdag zijn de verschillen zeer gering. De CO₂-niveaus zijn in beide behandelingen gelijk.

Figuur 3.12 Buistemperaturen dag en nacht

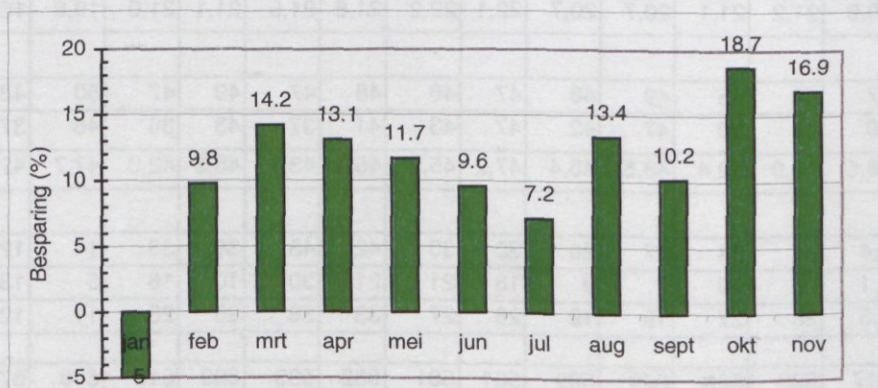


Figuur 3.13 Kasttemperatuur en relatief gasverbruik



De gerealiseerde energiebesparing per maand is weergegeven in figuur 3.14. In januari, voordat de CTI-regeling was gestart, verbruikte de latere CTI-afdeling 5% meer energie dan de latere referentieafdeling. Na de start van de CTI-regeling verandert dit beeld duidelijk; er wordt flink energie bespaard. De besparing varieert van 7,2% in juli tot 18,7% in oktober. Over de periode februari tot en met het einde van de teelt in november is de besparing 12,3% op het gasverbruik.

Figuur 3.14 Energiebesparing bij komkommer, per maand voor de CTI-afdeling in procenten van de referentieafdeling



3.3.2. Gewas en productie

De productiegegevens, afkomstig uit de telvakken, zijn samengevat in tabel 3.9. Het productieverloop van de vier teelten is weergegeven in figuur 3.15. Tijdens de teelten traden er geen duidelijk zichtbare verschillen op tussen de gewassen. De verschillen tussen de behandelingen blijken uiterst gering en zijn zeker niet betrouwbaar. Ook de kwaliteit verschilde niet tussen de behandelingen. Sortering 2, dat is de tweede, dus mindere, kwaliteit kwam in geen van beide behandelingen voor.

Tabel 3.9 Productiegegevens van de vier komkommerteelten

		Gewicht (kg/m ²)	Stuks per m ²	Gemiddeld vrucht- gewicht (g)	Sortering 2 gewicht	Sortering 2 stuks
Referentie	Teelt 1	12,0	29,3	411	0	0
idem	Teelt 2	20,3	48,8	416	0	0
Idem	Teelt 3	24,0	54,9	438	0	0
Idem	Teelt 4	6,0	15,6	386	0	0
totaal		62,3	148,6	419	0	0
CTI	Teelt 1	12,4	30,2	410	0	0
Idem	Teelt 2	19,4	46,7	416	0	0
idem	Teelt 3	22,9	52,9	433	0	0
Idem	Teelt 4	6,1	15,5	395	0	0
totaal		60,8	145,3	418	0	0

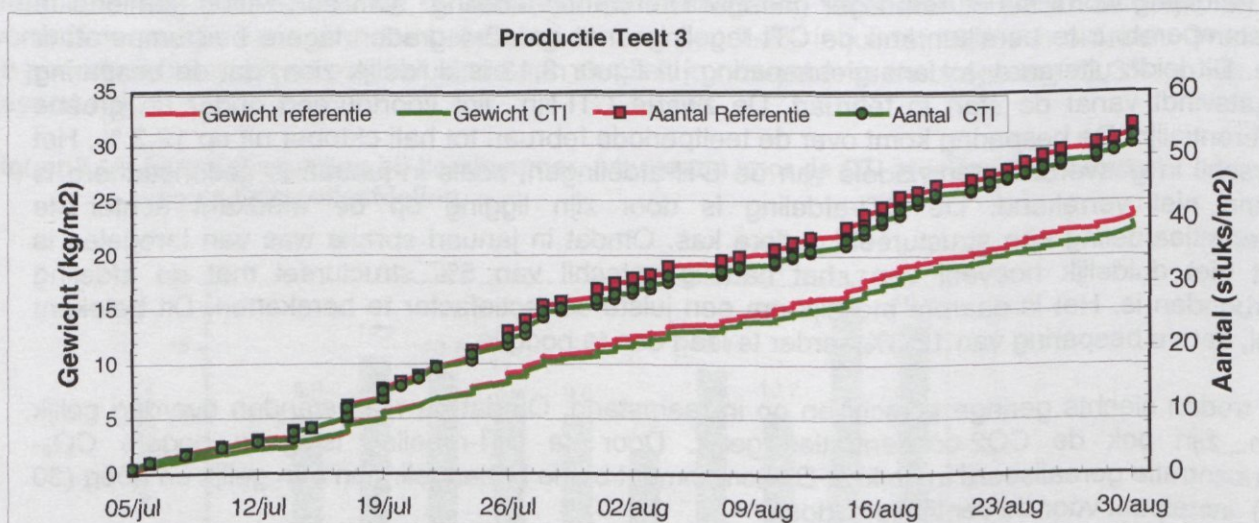
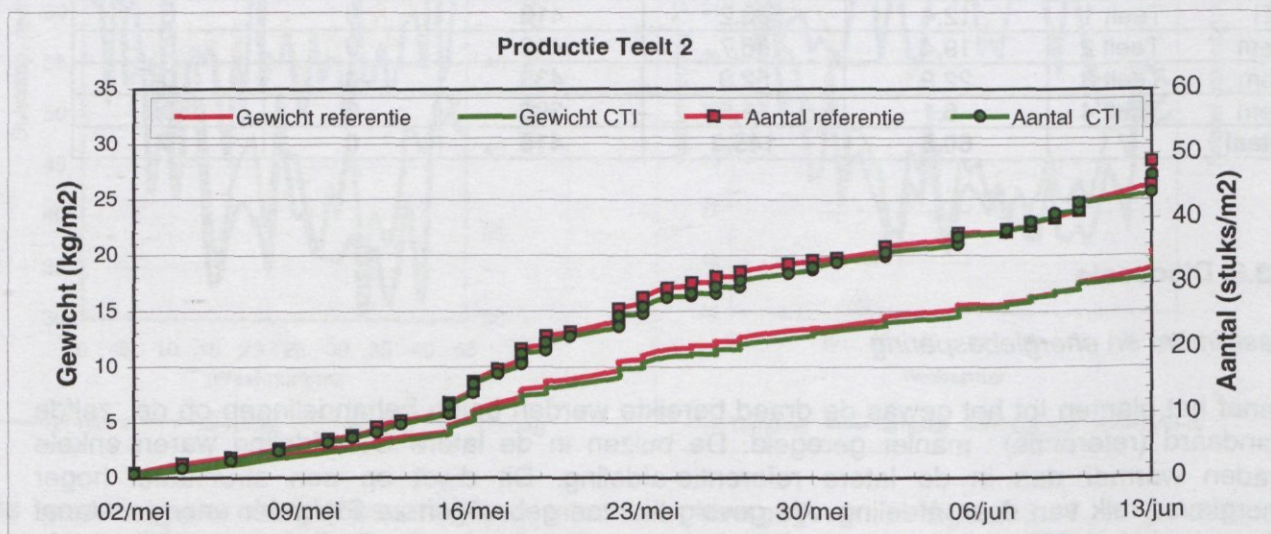
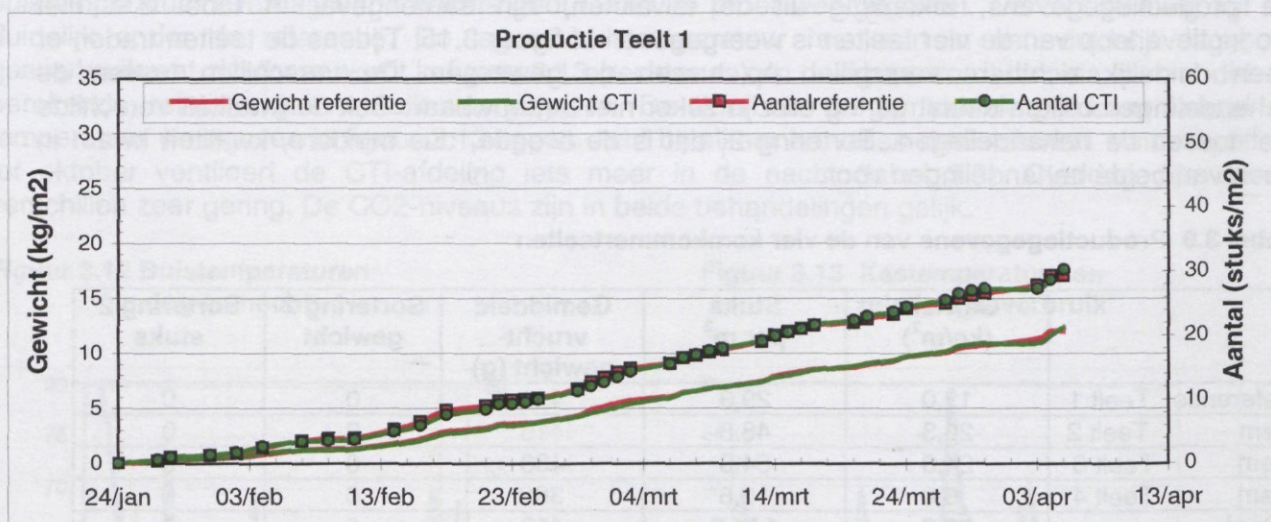
3.3.3. Discussie

Kasklimaat en energiebesparing

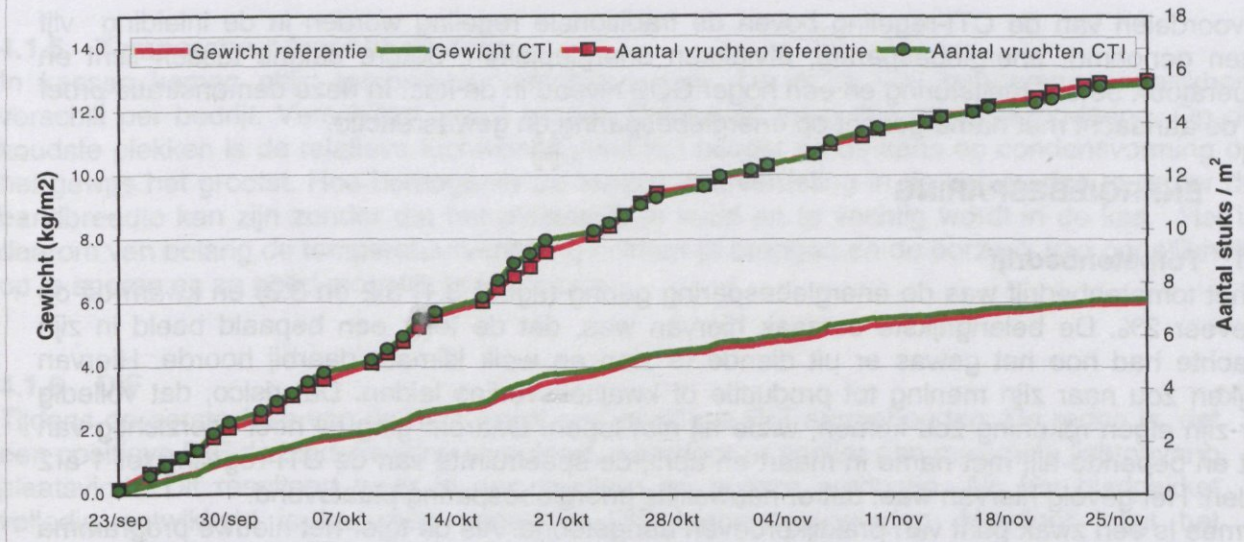
Vanaf het planten tot het gewas de draad bereikte werden beide behandelingen op de zelfde standaard (referentie) manier geregeld. De buizen in de latere CTI-afdeling waren enkele graden warmer dan in de latere referentie-afdeling. Dit duidt op een structureel hoger energieverbruik van deze afdeling. Als gevolg hiervan gebruikten ze 5% méér energie. Vanaf februari, als het CTI-programma gaat regelen, verandert de situatie. De buistemperatuur in de CTI-afdeling wordt structureel lager dan in de referentie-afdeling. Om een zelfde gemiddelde kastemperatuur te bereiken kan de CTI-regeling met een 3-4 graden lagere buistemperatuur toe. Dit leidt, uiteraard, tot energiebesparing. In figuur 3.13 is duidelijk zien, dat de besparing plaatsvindt vanaf de start in februari. De zwarte CTI-lijn ligt voortdurend onder de groene referentielijn. De besparing komt over de teeltperiode februari tot half oktober uit op 12,3 %. Het verschil in gasverbruik ten nadele van de CTI-afdelingen, zoals in januari is geconstateerd is hierin niet verrekend. De CTI-afdeling is door zijn ligging op de windkant achter de referentieafdeling een structureel koudere kas. Omdat in januari sprake was van inregelen is het niet duidelijk hoeveel van het nadelig verschil van 5% structureel met de afdeling verbonden is. Het is daarom moeilijk om een juiste correctiefactor te berekenen. Dit betekent wel, dat de besparing van 12,3% eerder te laag dan te hoog is.

Er treden slechts geringe verschillen op in raamstand. Omdat de raamstanden overdag gelijk zijn, zijn ook de CO₂-concentraties gelijk. Door de CTI-regeling is geen hogere CO₂-concentratie gerealiseerd in de kas. Dit komt omdat beide behandelingen een gelijk en hóóg (30 °C) instelpunt voor de ventilatie hadden.

Figuur 3.15 Productieverloop komkommer, gewicht en aantal vruchten per m2 voor de vier teelten



Productie Teelt 4



Gewas en productie

Tijdens de teelten traden er nauwelijks of geen gewasverschillen op. De gewasverschillen, voor zover daarvan soms sprake was, bleek tussen de herhalingen groter dan tussen de behandelingen. Ook de productie per m² in kilogram versgewicht en aantal vruchten toonde minimale en niet betrouwbare verschillen. Omdat de raamstanden overdag gelijk waren, waren ook de CO₂-concentraties gelijk. Dit verklaart met de afwezigheid van temperatuurverschillen de afwezigheid van productieverschillen tussen de behandelingen. De CTI-regeling had ook geen enkele invloed op de kwaliteit van de vruchten. Kwaliteit 2 kwam nauwelijks voor.

3.3.4 Conclusie

Meerdaagse temperatuurintegratie van februari tot half oktober resulteerde in een energiebesparing van minstens 12,3% zonder dat dit de productie kwalitatief of kwantitatief beïnvloedde.

4 SLOTDISCUSSIE

Als voordelen van de CTI-regeling boven de traditionele regeling worden in de inleiding vijf punten genoemd: energiebesparing, afvlakken energiepieken, betere balans tussen licht en temperatuur, betere teeltsturing en een hoger CO₂-niveau in de kas. In deze demonstratie proef was de aandacht met name gericht op energiebesparing en gewasreactie.

4.1 ENERGIEBESPARING

4.1.1 Tomatenbedrijf

Op het tomatenbedrijf was de energiebesparing gering (figuur 3.1, 3.2 en 3.3) en kwam uit op ongeveer 2%. De belangrijkste oorzaak hiervan was, dat de teler een bepaald beeld in zijn gedachte had hoe het gewas er uit diende te zien en welk klimaat daarbij hoorde. Hiervan afwijken zou naar zijn mening tot productie of kwaliteitsverlies leiden. Dat risico, dat volledig voor zijn eigen rekening zou komen, wilde hij niet lopen. Daarom ging hij heel voorzichtig van start en beperkte hij, met name in maart en april, de speelruimte van de CTI-regeling tot 1 à 2 graden. Het gevolg hiervan was, dat er nauwelijks energiebesparing plaatsvond.

Hiermee is een zwak punt van praktijkproeven aangetoond. Als de teler het nieuwe programma geen ruimte geeft omdat hij bang is voor productie of kwaliteitsverlies, waarvoor hij zélf financieel opdraait, houdt hij de teugels (te) strak en komt het programma niet tot zijn recht. De proef levert dan niet op wat er van verwacht wordt.

4.1.2 Paprikabedrijf

Op het paprikabedrijf was de totale besparing nihil (figuren 3.6, 3.7 en 3.8). De reden is dat de referentieafdeling niet als echte referentie geregeld werd. CTI-principes, waren ook ingesteld in de referentie-afdeling. Hierdoor verschilde de referentie nauwelijks meer van de CTI-regeling. Er was geen sprake meer van twee verschillende behandelingen, maar van twee CTI-regelingen, een 'verkapte' CTI en een 'echte' CTI. Daarom werd er, uiteraard, ook geen verschil in energieverbruik waargenomen. Op dit bedrijf bleek wel duidelijk dat de CTI-principes werken, maar hélaas kon de daardoor veroorzaakte energiebesparing niet gemeten worden. Ten opzichte van collega paprikatelers lag dit bedrijf overigens wel 5-10% lager in zijn gasverbruik, maar dat gold voor beide behandelingen. Welk deel hiervan aan de CTI-regeling is toe te schrijven is niet te achterhalen.

4.1.3 Komkommerbedrijf

Op het komkommerbedrijf werd de verwachte en via het ECP-model berekende energiebesparing van 10 - 15% gerealiseerd. De figuren 3.12, 3.13 en 3.14 tonen duidelijk aan dat vanaf het moment dat de CTI-regeling in februari actief werd er iedere maand flink bespaard werd. Tot dat moment gebruikte de CTI-afdeling 5% meer energie en vanaf dat moment tot einde teelt in november 12,3% minder energie. Als het aanvankelijke verschil verrekend wordt, komt de besparing zelfs boven de 15%, uit. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze tuinder al laag zat in zijn energieverbruik; zo 'n 5-10% beneden het gemiddelde van vergelijkbare bedrijven.

Er vonden vier komkommerteelten plaats tegen één paprika- of tomatenteelt. Dit houdt in, dat bij komkommer de financiële gevolgen voor de tuinder van een eventueel negatief effect op het gewas veel geringer zouden zijn geweest dan bij paprika of tomaat.

4.1.4 (Gewas)condensatiemodel

Het model werkte goed en de drie telers waren er zeer tevreden over. Door het model krijgt men meer zicht op de kans dat condensvorming kan optreden, zodat er bijtijds maatregelen getroffen kunnen worden om dit te voorkomen. Tijdens de proef maakte het model nog geen

onderdeel uit van de klimaatregeling. In de nieuwste versie van het regelprogramma is het model standaard ingebouwd en kan er dus ook op geregeld worden.

4.1.5 Temperatuur-/vochtverdeling

In kassen komen altijd temperatuurverschillen voor. De mate van temperatuurongelijkheid verschilt per bedrijf. Verschillen van 4 graden Celsius of meer zijn geen uitzondering. Op de koudste plekken is de relatieve luchtvochtigheid het hoogst en de kans op condensvorming op het gewas het grootst. Hoe homogener de temperatuurverdeling in de kas is, des te groter de bandbreedte kan zijn zonder dat het plaatselijk te koud en te vochtig wordt in de kas. Het is daarom van belang de temperatuurverdeling in kaart te brengen en de oorzaak van ongelijkheid op te sporen en zo goed mogelijk te verhelpen.

4.1.6 DIF

Tijdens de eerste fase van de teelt wordt een positieve DIF aangehouden. De reden is, dat een positieve DIF de bladstrekking stimuleert, waardoor er sneller een maximale lichtopvang plaatsvindt. Dit resulteert weer in een snellere en hogere productie. Als het bladpakket volledig ontwikkeld is kan een negatieve DIF toegelaten worden. Hierdoor krijgt het programma meer mogelijkheden tot energiebesparing.

4.2 AFVLAKKEN ENERGIEPIEKEN

Energiepieken moeten zoveel mogelijk worden voorkomen omdat in de toekomst pieken leiden tot een extra hoge gasprijs.

4.2.1 Aantal integratiedagen

Naarmate het aantal integratiedagen, de toegestane bandbreedte en de toelaatbare afwijking van de temperatuursom toenemen, krijgt de regeling meer ruimte en tijd om de ingestelde gemiddelde temperatuur te realiseren zonder dat er sprake is van hoge piekverbruiken. Hierbij is een betrouwbaar lokaal weerbericht van groot belang.

4.2.2 Reactie op sterke kouval

Bij bijvoorbeeld een plensbui daalt de kastemperatuur flink onder de gewenste waarde. Bij een traditionele regeling met een temperatuursetpoint van bijvoorbeeld 18 graden wordt dit gelijk bijgestookt en ontstaat een hoge piek in de energievraag. Econaut daarentegen staat een extra daalmarge t.o.v. de traditionele regeling toe. De temperatuur zakt net zo ver terug als bij een traditionele regeling en wordt ook weer zo snel mogelijk opgestookt; maar in eerste instantie niet hoger dan de minimumtemperatuurlijn (bijv 16 graden). Vervolgens gaat de regeling volgens de toegestane stijgsnelheid verder stijgen en wordt de ontstane temperatuurachterstand verrekend over de komende integratieperiode. Door deze wijze van doen ontstaat er geen hoge piekvraag.

4.3 TEELTSTURING

Uit de proef bleek dat de CTI-regeling goed in staat is een opgegeven setpoint te realiseren. De gemiddelde temperaturen en dus ook de temperatuursommen van de behandelingen bleven vlak bij elkaar (figuur 3.2, 3.7 en 3.13). Dit betekent, dat de CTI-regeling in staat is een van te voren opgegeven gemiddelde goed te realiseren. Omdat ontwikkelingsprocessen met name reageren op gemiddelde temperaturen, biedt dit de mogelijkheid de ontwikkelingsduur te sturen. Dit is een vereiste bij het planmatig telen van gewassen, waarbij het tijdstip van levering een belangrijke factor is.

4.4 LICHT/TEMPERATUURBALANS

Om een eventuele betere licht/temperatuurbalans en daardoor een evenwichtiger groei aan te tonen voor de CTI-regeling ten opzichte van de referentie waren niet voldoende gegevens aanwezig. De verschillen in temperatuurpatroon in de twee teelten waar dit het meest interessant zou kunnen zijn, paprika en tomaat, waren om eerder genoemde redenen te gering.

4.4.1 Gewasreacties

Een eventuele reactie van het gewas op CTI was alleen maar goed te volgen bij komkommer. Bij tomaat en paprika verschilden de klimaten tussen de behandeling zo weinig, dat er van een duidelijke invloed op het gewas geen sprake kon zijn. Komkommer liet een duidelijk verschil zien in buistemperatuur en in de dag- en nacht kastemperatuur. De CTI-regeling gaf ten opzichte van de referentie regeling echter geen betrouwbaar verschil te zien in gewas, productie en kwaliteit. De verschillen (spreiding) binnen een behandeling waren groter dan tussen de behandelingen. Het nauwelijks of niet reageren van het komkommersgewas op de CTI-regeling is in overeenstemming met eerder onderzoek bij een aantal groenten en siergewassen. Het bewijst het vermogen van het gewas tot temperatuurintegratie.

4.5 HOGER CO2-NIVEAU

De CTI-regeling biedt de mogelijkheid overdag een hoger CO₂-niveau te realiseren door overdag minder te ventileren. De extra warmte wordt vervolgens op een ander tijdstip, bijvoorbeeld 's nachts, weer gecompenseerd. Van deze mogelijkheid is niet of nauwelijks gebruik gemaakt. Er was nauwelijks verschil in ventilatiepatroon tussen de behandelingen.

4.6 OPGEDANE ERVARING EN REACTIE TUINDERS

Behalve dat het project directe onderzoekresultaten opleverde werd er, uiteraard, door de onderzoekers en deelnemende tuinders ervaring opgedaan met het gebruik van de CTI-regeling onder praktijkomstandigheden. De belangrijkste ervaringsfeiten worden hieronder vermeld.

4.6.1 Gevoelstemperatuur

De momentane kastemperatuur in een kas met CTI-regeling en een kas zonder CTI-regeling kan flink verschillen terwijl het gemiddelde over de integratieperiode gelijk is. Hierdoor bestond er in het begin van de proef 'angst' voor de soms hoge temperatuur in de CTI-afdeling. Dit gevoel werd alleen maar erger indien de vergelijking werd gemaakt tijdens zonnige middaguren. De oorzaak hiervan is dat de CTI-regeling probeert zoveel mogelijk warmte binnen te houden. Hierbij moet opgemerkt worden dat een klimaat dat door de mens als minder aangenaam wordt ervaren, voor het gewas wél aangenaam (gunstig) kan zijn.

4.6.2 'Onlogische werking'

Bij tomaat en paprika had men de ervaring dat de regeling soms 'onnatuurlijk' werkte bij donkere dagen. De oorzaak hiervan was een te nauw ingestelde bandbreedte en een te lage maximumbuis. Hierdoor bouwde de Econaut een temperatuurachterstand op en moest die noodgedwongen op een soms ongunstig moment weer inhalen. Dit kan voorkomen worden door de maximumbuis minder te begrenzen, meer bandbreedte te geven en/of de etmaaltemperatuur te verlagen.

4.6.3 Rustiger regeling

De tomatenteler vond dat het CTI-programma tot een rustiger regeling en een betere licht-/temperatuurbalans leidde. Zijn waarneming stelde overigens niet op objectieve metingen. Als zijn waarneming klopt, zal dit bij het geven van meer speelruimte aan de CTI-regeling duidelijker zichtbaar en meetbaar moeten worden. Dit is dus een punt om goed in de gaten te houden.

4.6.4 Afvlakken productiepieken

De paprikateler vond dat bij de CTI-regeling de productiepieken wat minder scherp waren. Herhaling CTI-2 (figuur 3.11) lijkt die bewering na week 23 te ondersteunen, herhaling CTI-1 echter niet. Ook voor de paprikaproef geldt dat de verschillen tussen de behandelingen te gering waren om dit eventuele effect duidelijk te maken. Echter, de referentiebehandeling laat een ook afvlakking zien; maar de referentie was eigenlijk een verkapte CTI-behandeling. Als het effect echt optreedt, zal dat bij het geven van meer speelruimte aan de CTI-regeling duidelijker moeten worden. Ook dit is een punt om in de gaten te houden.

4.6.5 Etmaaltemperatuur en Ecolijn

Bij het instellen van de Econaut dient er op gelet te worden dat de etmaaltemperatuur overeenkomt met de gemiddelde temperatuur van de Ecolijn. Indien de gemiddelde etmaaltemperatuur lager is, dan is er sprake van een overschot aan natuurlijke energie (bijv. minimumbuis en instraling), indien de gemiddelde temperatuur hoger is, dan is er een tekort aan energietoevoer (bijvoorbeeld een te lage maximumbuis).

4.6.6 Startmoment CTI-regeling

Bij komkommer is uit voorzorg vrij laat, 2-3 weken na planten, gestart met de CTI-regeling. Dit bleek achteraf echter niet nodig. Er kan zonder problemen direct vanaf het planten gestart worden met CTI; maar dan wel met minder bandbreedte en een kleinere marge voor de temperatuursom dan later in de teelt. Zie verder praktijkinstellingen hoofdstuk 5.

4.6.7 Controle stralingsmeter

Op een onbewolkte dag geeft Meteoconsult de maximaal te verwachte straling op. Hiervan kan men handig gebruik maken om de eigen solarimeter te controleren op grote afwijkingen. Als de gemete waarde minder dan 5% afwijkt van Meteoconsult, dan is de meter goed afgesteld en als hij meer dan 10% afwijkt, moet hij worden bijgesteld. Dit geldt overigens uitsluitend voor **momentane** waarden als de lucht **volkomen helder** is, en **niet** voor de stralingsom!

4.6.8 Bijscholing

Om het maximale uit het CTI-programma te halen is goede kennis van zowel de mogelijkheden die het programma biedt als van de reacties van plant en gewas noodzakelijk. De telers onderschreven de wenselijkheid van een gerichte cursus om het maximale uit temperatuurintegratie te halen.

4.6.9 laatste informatie uit het onderzoek

Uit onderzoek op het PPO (PBG) in een stookteelt met komkommer in de winter 2000/2001 bleek, dat 6 dagen 16 °C met daarna temperatuurcompensatie door 2 °C boven de standaardtemperatuur te stoken, geen productie- of kwaliteitsverlies veroorzaakte. Dit gold ook voor drie dagen van 12 °C met daarna temperatuurcompensatie. Wel bleef het gewas in het laatste geval meer 'open'. Dit hoeft echter geen nadeel te zijn. De conclusie is, dat een komkommernewas veel kan hebben, als men maar compenseert. Zoniet, dan kost het vroegheid.

4.6.10 Hoe verder in 2001?

Tijdens het schrijven van dit rapport, het is inmiddels maart 2001, staan de nieuwe teelten al weer een paar maanden te groeien. Een goed moment om te kijken wat de drie telers met de in 2000 opgedane ervaring hebben gedaan in 2001. Hier volgt in het kort de stand van zaken.

Tomaat

Het CTI-programma wordt op het hele bedrijf toegepast. Er wordt een grotere bandbreedte aangehouden dan in 2000. Voor stoken geldt momenteel (2^e helft maart) 15,5 – 21 °C. Geventileerd wordt op 23-24 °C. Bij zonnig weer mag de temperatuur oplopen tot 28 °C. Temperaturen boven de 28 °C leiden tot een verminderde bloemkwaliteit en zijn daarom niet acceptabel. Indien nodig (r.v. > 88%), wordt een vochtkier van 2% ingezet. De minimumbuis wordt veel minder gebruikt dan in voorgaande jaren.

Paprika

Het CTI-programma wordt op het hele bedrijf toegepast. Er wordt een duidelijk grotere bandbreedte aangehouden dan in 2000. Naar het voorjaar toe krijgt het programma meer ruimte. Vanaf half februari geldt voor stoken 17 – 22 °C. Gelucht wordt boven de 24,5 °C en indien nodig op vocht.

Komkommer

Het CTI-programma wordt op het hele bedrijf toegepast. Er is geplant in de eerste week van januari, waarna op de traditionele manier van regelen 20/20 (dag/nacht) werd aangehouden. CTI wordt gebruikt vanaf eind februari met voor een stookband van 17– 23 °C. Gelucht wordt boven de 23,5 °C en indien nodig op vocht. Op basis van de tot nu toe opgedane ervaring is besloten voortaan direct na het planten met CTI te starten.

5 PRAKTIJKADVIESINSTELLINGEN VOOR DE CTI-REGELING

Op basis van het onderzoek op de drie bedrijven en de ervaring tot nu toe met meerdaagse temperatuurintegratie zijn voor paprika, tomaat en komkommer schema's opgesteld die gebruikt kunnen worden bij het instellen van de CTI-regeling. In de schema's is een teelt in verschillende fasen opgedeeld.

5.1 TOMAAT: ADVIES INSTELLINGEN VOOR DE CTI-REGELING

Onderstaande schema's met adviesinstellingen voor de CTI-regelaar in de praktijk zijn samengesteld op grond van proefstation- en praktijkonderzoek, en ervaring tot nu toe (februari 2001). Afhankelijk van ras, 'stand van het gewas' en ervaring met temperatuur-integratie, kan men hier van afwijken.

De tomatenteelt is onder te verdelen in vier verschillende gewasfasen.

- 1 Vegetatieve fase vanaf planten in november/december tot bloei eerste tros.
- 2 Generatieve fase vanaf zetting eerste bloem tot bloei vierde tros.
- 3 Balansfase vanaf vierde tros tot zetting laatste tros half september.
- 4 Afrijpfase vanaf laatste zetting tot begin november.

Fase 1: november/december tot begin januari

Doel: vegetatieve groei stimuleren, snel een 'groot' gewas opbouwen (bladoppervlak) door:

- Hoge temperaturen aanhouden
- Transparante schermen bij koud weer dag (deels) en nacht gesloten
- Maximaal gebruik maken van de CTI-mogelijkheden.

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	21,0 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	0,5 °C
Bandbreedte stoken dag	19 – 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	18– 24 °C
Negatieve DIF	nee
Aantal integratiedagen	3
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	150 graaduur
Ventilatie	nee
CO ₂ -nivo	1000 - 1200 dpm

Fase 2: januari tot half februari

Doel: generatieve groei stimuleren door:

- Temperatuur verlagen
- Overdag scherm open om maximaal licht op het gewas te krijgen. Hoe meer licht hoe beter de zetting.

Regelgrootheid	Instellingen
Etmaaltemperatuur	19,0 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	17 – 23 °C
Bandbreedte stoken nacht	15 – 22 °C
Negatieve DIF	Nee
Aantal integratiedagen	3
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	200 graaduur
Ventilatie	Nee
CO ₂ -nivo gesloten ramen	1000 - 1200 dpm

Fase 3: half februari tot half september

Doel: regelmatige trosvorming (+/- één per week) en zetting door goede balans tussen generatieve en vegetatieve groei

- Aanleg van sterke trossen.
- Maximale vruchtgroei.

Regelgrootheid	Instellingen
Etmaaltemperatuur	18 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	16 - 24 °C
Bandbreedte stoken nacht	14 - 21 °C
Negatieve DIF	Mag
Aantal integratiedagen	7
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	300 graaduur
Ventilatie	28 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	1000 - 1200 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

Fase 4 half september tot einde teelt

Doel: laatste zetting laten uitgroeien voordat begin november de teelt stopt.

Na half september wordt getopt en is zetting niet meer aan de orde. Het CTI-programma kan de volle lengte krijgen.

Regelgrootheid	Instellingen
Etmaaltemperatuur	18 °C ,laatste week 20 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	14 - 22 °C
Bandbreedte stoken nacht	13 - 22 °C
Aantal integratiedagen	7
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	300 graaduur
Negatieve DIF	Mag
Ventilatie	28 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	800 – 900 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

5.2 PAPRIKA: ADVIES INSTELLINGEN VOOR DE CTI-REGELING

Onderstaande schema's met adviesinstellingen voor de CTI-regelaar in de praktijk. zijn samengesteld op grond van proefstation- en praktijkonderzoek, en ervaring tot nu toe (februari 2001). Afhankelijk van ras, 'stand van het gewas' en ervaring met temperatuurintegratie, kan men hier van afwijken.

De paprikateelt is onder te verdelen in vijf verschillende gewasfasen. De lengte van een fase is o.a. rasafhankelijk.

Fase 1: vegetatieve fase, 6 weken vanaf planten in december tot ca. half januari

Doel: vegetatieve groei stimuleren, snel een 'groot' gewas (bladoppervlak) maken door:

- Hoge temperaturen aanhouden.
- Transparante schermen, afhankelijk van het weer, overdag en 's nachts gesloten.
- Maximaal gebruik maken van de CTI-mogelijkheden.

Regelgrootheid	Instellingen
Etmaaltemperatuur	22 °C
Lichtverhoging	Geen
Bandbreedte stoken dag	20 – 24 °C
Bandbreedte stoken nacht	18 - 24 °C
Integratiedagen	3
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	150 graaduur
Negatieve DIF	Nee
Ventilatie	nee
CO ₂ -nivo	900 – 1000 dpm

Fase 2: start generatieve fase, eerste zetsel vanaf half januari tot begin/half februari.

Doel: generatieve groei stimuleren, eerste zetting forceren door:

- Temperatuur verlagen, vooral de nachttemperatuur voor sterkere bloemen.
- Overdag scherm open om maximaal licht op het gewas te krijgen. Hoe meer licht hoe beter de zetting.
- Droger houden.

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	20,0 °C, bij slechte zetting 19 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	0,5 °C
Bandbreedte stoken dag	16 – 22 °C
Bandbreedte stoken nacht	16 – 20 °C
Negatieve DIF	nee
Integratiedagen	3
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	200 graaduur
Ventilatie	nee
CO ₂ -nivo	900 – 1000 dpm, eventueel tot 1500 dpm

Fase 3: ontwikkelingsfase, eerste zetsel tot begin maart.

Doel: Start op het moment dat de vruchten zo groot zijn, dat ze niet meer aborteren. Snelle ontwikkeling van het eerste zetsel stimuleren door:

- Hoge temperatuur

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	20,0 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	18 – 24 °C
Bandbreedte stoken nacht	16 – 22 °C
Negatieve DIF	mag
Integratiedagen	5
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	250 graaduur
Ventilatie	26 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	900 – 1000 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

Fase 4: evenwichtsfase tussen vegetatief en generatief maart tot eind augustus.

Doel: balans maken/houden tussen generatief en vegetatief (plantbelasting, rasafhankelijk naar 35-45 per m²). Er is in maart gemiddeld voldoende licht om goede zetting te waarborgen zonder dat de temperatuur sterk moet worden verlaagd en als gevolg daarvan de uitgroeiduur van de vruchten verlengt.

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	20 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	16 - 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	16 - 25 °C
Negatieve DIF	Mag
Integratiedagen	7
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	300 graaduur
Ventilatie	26 °C, in zomer 28 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	900 – 1000 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

Fase 5: uitgroeifase laatste zetting vanaf half september tot begin november.

Doel: laatste zetting laten uitgroeien voordat begin november de teelt stopt.

Door eind augustus groen te oogsten daalt de plantbelasting en wordt de laatste zetting gestimuleerd. Half september wordt getopt en is zetting niet meer aan de orde. Als de laatste gezette vruchten niet meer aborteren, wordt voorrang gegeven aan de temperatuur boven het licht. Dus scherm gebruiken, ook eventueel overdag. Het CTI-programma kan de volle ruimte krijgen.

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	22 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	geen
Bandbreedte stoken dag	16-22 °C
Bandbreedte stoken nacht	16-22 °C
Negatieve DIF	Mag
Integratiedagen	7

Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	300 graaduren
Ventilatie	30 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	900 – 1000 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

5.3 KOMKOMMER: ADVIES INSTELLINGEN VOOR DE CTI-REGELING

Onderstaande schema's met adviesinstellingen voor de CTI-regelaar in de praktijk, zijn samengesteld op grond van proefstation- en praktijkonderzoek, en ervaring tot nu toe (februari 2001). Afhankelijk van ras, 'stand van het gewas' en ervaring met temperatuurintegratie, kan men hier van afwijken.

Uitgangspunt is een komkommerteelt met 3 plantingen

Planting 1, tweede helft december

Planting 2, half mei

Planting 3, begin augustus

Planting 1, tweede helft december

Eerste dag continue 20 °C aanhouden, daarna drie weken, tot half januari, de vegetatieve groei stimuleren, snel een 'groot' gewas opbouwen (groot bladoppervlak). Instellingen:

Regelgrootheid	Instellingen
Etmaaltemperatuur	21,0 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	0,5 °C
Bandbreedte stoken dag	20 – 24 °C
Bandbreedte stoken nacht	19– 22 °C
Negatieve DIF	Nee
Aantal integratiedagen	3
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	150 graaduur
Ventilatie	Nee
CO ₂ -nivo	600 dpm

Vervolgens van half januari tot half februari:

Regelgrootheid	Instellingen
Etmaaltemperatuur	20 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	19 – 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	18 - 22 °C
Negatieve DIF	Ja
Aantal integratiedagen	5
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	250 graaduur
Ventilatie	Nee
CO ₂ -nivo gesloten ramen	800 dpm bij maximum licht

Vervolgens vanaf half februari tot einde teelt half mei:

Regelgrootheid	Instellingen
Etmaaltemperatuur	20 °C

Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	18 - 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	16 - 22 °C
Negatieve DIF	Ja
Aantal integratiedagen	5
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	300 graaduur
Ventilatie	3 °C boven stoken en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	900 dpm bij maximum licht
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

Planting 2, half mei

Eerste drie weken, tot tweede week juni:

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	Week 1 & 2 :21,0 °C, week 3: 20 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	20 - 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	17 - 21 °C
Aantal integratiedagen	5
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	200 graaduur
Negatieve DIF	nee
Ventilatie	26 °C
CO ₂ -nivo gesloten ramen	800 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

Vanaf week 4, tweede week juni, tot einde teelt eind juli begin augustus:

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	19,5 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	18 - 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	12 - 20 °C
Aantal integratiedagen	5
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	300 graaduur
Negatieve DIF	mag
Ventilatie	26 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	900 - 1000 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

Planting 3, begin augustus

Eerste vier weken na het planten; tot eind augustus.

Regelgrootheid	instellingen
Etmaal	Week 1 t/m 3: 20,0 °C, week 4: 19,5 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	20 - 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	18 - 22 °C

Aantal integratiedagen	3
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	200 graaduur
Negatieve DIF	nee
Ventilatie	26 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	800 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

Vanaf week 5, begin september, tot einde teelt:

Regelgrootheid	instellingen
Etmaaltemperatuur	20 °C
Lichtverhoging etmaaltemperatuur	1 °C
Bandbreedte stoken dag	18 – 25 °C
Bandbreedte stoken nacht	12 - 20 °C
Aantal integratiedagen	5
Toelaatbare afwijking van de temperatuursom	300 graaduur
Negatieve DIF	mag
Ventilatie	26 °C en eventueel op vocht
CO ₂ -nivo gesloten ramen	900 - 1000 dpm
CO ₂ -nivo open ramen	Minimaal 360 dpm

6 Bijlagen

In deze bijlage wordt per gewas achtergrondinformatie gegeven over temperatuurintegratie en de in het onderzoek gebruikte instellingen van de CTI-regeling, zoals samengevat in tabel 2.1 op pagina 12.

6.1 ACHTERGRONDINFORMATIE TEELT EN INSTELLINGEN TOMAAT

Toepassing van temperatuurintegratie bij het regelen van het kasklimaat geeft een aantal extra vrijheden vergeleken met een conventionele regeling. **Doelen** van dit project zijn: (1) telers in de praktijk vertrouwd te maken met een wat andere manier van denken over temperatuur die hieruit voortvloeit, en (2) te laten zien dat het toepassen van temperatuurintegratie kan leiden tot energiebesparing. Het is niet de bedoeling om in dit project grenzen te gaan verkennen. Er zal daarom wat betreft energiebesparing ook niet het maximaal mogelijke worden gerealiseerd.

6.1.1 Algemene effecten van temperatuur op gewasgroei, ontwikkeling en kwaliteit:

De belangrijkste invloed van **temperatuur** is op de ontwikkelingssnelheid van het gewas (bladafsplitsing, bloeitempo, uitgroei van bladeren en vruchten); hoe hoger de temperatuur, hoe sneller deze processen verlopen¹. De directe invloed van temperatuur op de groei (fotosynthese, productie van biomassa) is veel geringer; deze processen worden veel sterker bepaald door de factor **licht**².

Temperatuur kan wel een **indirecte invloed** hebben op de productie van biomassa: bij een jong gewas zijn de bladeren vaak nog niet ver genoeg uitgegroeid om al het beschikbare licht op te vangen. Versnelde afsplitsing en uitgroei van bladeren bij een hogere temperatuur zorgt dat het gewas meer licht opvangt en meer assimilaten maakt. Deze assimilaten worden meteen weer geïnvesteerd in extra blad en er kan meer licht worden opgevangen zodat een effect van rente - over - rente ontstaat. Dit effect stopt zodra er zoveel blad is dat vrijwel al het beschikbare licht wordt opgevangen, en de aanmaak van extra blad geen extra voordeel meer oplevert. Verschillen die in deze vroege teeltfase ontstaan kunnen de hele teelt doorwerken op de productie^{3,4}.

Het basisprincipe van **temperatuurintegratie** is dat de gemiddelde temperatuur bepalend is voor de ontwikkeling van het gewas. Bij een bepaalde gemiddelde temperatuur hoort dus in principe altijd een vaste ontwikkelingssnelheid. De manier waarop dit gemiddelde tot stand is gekomen is veel minder belangrijk⁵.

Op deze regel is één belangrijke uitzondering: de verdeling van temperatuur over dag en nacht. Wanneer de dagtemperatuur gedurende een langere periode consequent verschilt van de nachttemperatuur dan heeft dit gevolgen voor het gewas. Dit systematische verschil wordt aangeduid met **DIF**; een positieve DIF betekent dat de dagtemperatuur hoger is dan de nachttemperatuur, bij een negatieve DIF zijn dag- en nachttemperatuur omgekeerd. Het belangrijkste effect van -DIF bij tomaat is een verkorting van de internodiën; positieve DIF geeft meer strekking. +DIF kan een gunstig effect hebben op de uitgroei van het blad (LAR) waarbij meer lichtinvang tot een hogere productie leidt⁶, omgekeerd kan een verminderde bladstrekking bij -DIF de vroege productie remmen⁷. LAR betekent Leaf Area Ratio, dat wil zeggen het bladoppervlak per hoeveelheid droge stof (cm²/gram). Wanneer dit probleem wordt voorkomen is er over het algemeen geen effect van DIF op de totaalproductie; evenmin als op de ontwikkelingssnelheid^{8,9}. Effecten van DIF zijn eigenlijk alleen over langere perioden bestudeerd, over effecten van kortere perioden of een minder regelmatige DIF is niets bekend. In vergelijking met de effecten van -DIF lijken effecten van meerdaagse temperatuurschommelingen relatief klein te zijn.

6.1.2 Plantbalans, zetting en regelmaat

De aanmaak (fotosynthese) en de verwerking van assimilaten (onderhoud van de plant en groei) moeten in principe met elkaar in evenwicht zijn. Op de lange duur kan een plant nooit meer assimilaten opmaken dan er gevormd zijn, en de capaciteit om niet verwerkte assimilaten op te slaan is ook eindig. Het feit dat de plant over tijdelijke opslagcapaciteit beschikt betekent wel dat de afstemming van aanmaak en verwerking van assimilaten op de korte termijn (1-2 dagen) niet erg kritisch is; de verschillen worden gebufferd¹⁰. De meeste vruchtgroentegewassen (waaronder tomaat) zijn in staat om zelf de assimilatenbehoefte af te stemmen op het aanbod. Dit kan doordat een overschot aan assimilaten leidt tot extra vruchtzetting, terwijl een tekort leidt tot een slechte zetting¹¹. Uitgroeïende vruchten zijn meestal de belangrijkste afnemers van assimilaten. Een hoge temperatuur stimuleert de uitgroei van vruchten en daarmee de verwerking van assimilaten, waardoor de zetting zal afnemen. Omgekeerd zal een lage temperatuur de zetting stimuleren doordat een vertraagde uitgroei leidt tot een overschot aan assimilaten. Doordat de invloed van de zetting op de totale plantbelasting vrij traag doorwerkt kan een ongewenst cyclisch patroon van hoge en lage plantbelasting ontstaan¹². Het is de taak van de teler om met aanpassingen van de stengeldichtheid, vruchtsnoei en de keuze van het temperatuurniveau het gewas in balans te houden en de productie op regelmaat¹.

6.1.3 Instellingen voor de Econaut CTI

A. Bandbreedte temperatuur: Veelgebruikte instellingen voor de stooklijn in de teelt van tomaat zijn: 20/18°C (D/N) of 18/18°C met een lichtinvloed op het dagsetpoint van enkele graden per 1000 W/m². Bij een conventionele klimaatregeling wordt tussen stoken en luchten seizoensafhankelijk een dode zone ingesteld van 4-6°C in de winter tot 1 of 0°C in zomer/herfst. In de winter wordt een langere (8-10°C) proportionele band voor de luchting ingesteld dan in de zomer (4°C). Verder wordt in de tomatenteelt ter bevordering van de generatieve groei veel gewerkt met hoge middagtemperaturen (1 tot 5 uur van 2 tot 8°C boven het etmaalgemiddelde) in combinatie met voornachtverlaging (13 – 17°C) om het effect op de etmaaltemperatuur te compenseren. Dit wordt toegepast vanaf de bloei van de eerste trossen totdat het gewas in mei/juni te generatief wordt door de hoge dagtemperatuur. Bij een conventionele regeling zal de gerealiseerde kasttemperatuur hierdoor dus een flinke bandbreedte vertonen, van naar schatting 9°C (15-24°C) in de winter tot 16°C of meer in de zomer (16 - 32°C). Voor de vergelijkbaarheid met de praktijk is het belangrijk dat de regelaar in de (niet integrerende) controlebehandeling zo wordt ingesteld dat een vergelijkbaar regelgedrag ontstaat. Om de integrerende regelaar in vergelijking met dit voor de winter gangbare temperatuurbereik wat extra bandbreedte te geven kan worden gekozen voor **14-25°C** (+ of - 1°C) of **13-26°C** (+ of - 2°C). Naar de zomer toe kan geleidelijk de toelaatbare maximumtemperatuur worden verhoogd. Opgemerkt moet worden dat de gangbare bandbreedte voor tomaat al ruim voldoende lijkt om energie te besparen. Eerder dan van een verdere vergroting van de bandbreedte is energiebesparing te verwachten van het minder precies vasthouden aan een bepaald gewenst temperatuurverloop binnen het etmaal. Uit eerdere ervaringen bleek dat een meerdaags integrerende regelaar met een bandbreedte van 14-26°C geen negatief effect had op productie en kwaliteit van tomaat cv. 'Counter'¹³; terwijl ook in een ander experiment met een optimaliserende regelaar met bandbreedte 14-27°C de productie gelijk was aan die in een conventioneel geregelde kas¹⁴. In de literatuur wordt aangegeven dat bloei en vruchtvorming bij tomaat in ieder geval goed gaan tussen 10 en 30°C¹⁵ of tussen 13 en 30-35°C¹⁶. Er bestaan rasverschillen in tolerantie voor hoge temperaturen¹⁷. Bij oogstvoorspelling op basis van graaddagen wordt ervan uitgegaan dat de ontwikkeling beneden 7°C stilstaat, terwijl temperaturen boven 37.8°C pas als schadelijk worden beschouwd¹⁷. De range van **13 tot 30°C** lijkt dus fysiologisch veilig voor tomaat, terwijl 7 tot 37°C voor afwijkingen van korte duur toelaatbaar (of in ieder geval niet rampzalig) lijkt te zijn. Hierbij moet worden aangetekend dat hoge temperaturen in combinatie met een lage lichthoeveelheid waarschijnlijk al eerder tot ongewenste effecten op de productie zullen leiden.

B. Bandbreedte afwijking temperatuursom: bij veel gewassen geldt dat afwijkingen tot ca. 300 graaduren nog zonder negatieve effecten kunnen worden gecompenseerd¹⁸. Bij tomaat is bekend dat meerdaagse temperatuurafwijkingen van ruim 400 graaduren niet leiden tot productiederving, waarbij oudere planten grotere afwijkingen tolereren dan jonge planten¹⁹. Als voorzichtige instellingen voor de regelaar zou voor een bandbreedte van **-200 tot +200 graaduren** kunnen worden gekozen, hoewel een bandbreedte van -300 tot +300 zeker nog niet onverantwoord lijkt. Belangrijk is daarbij dat de plant voldoende reserves moet houden. Daarom zou kunnen worden overwogen om de bandbreedte asymmetrisch te kiezen, bijv. van **-300 tot +100**.

C. Maximale integratieperiode: verwacht mag worden dat het gerealiseerde temperatuurverloop van de CTI-regeling rustiger zal zijn naarmate de integratieperiode langer is. Er hoeft n.l. minder sterk te worden ingegrepen naarmate de periode waarover temperatuurafwijkingen kunnen worden gecompenseerd langer is. De uitgroeiduur van tomaat is lang in vergelijking met de maximale integratieperiode van de CTI-regelaar (6 – 10 weken tegenover 1 week). Een integratieperiode van 12 dagen bleek geen problemen op te leveren¹⁹. Een integratieperiode van **7 dagen** lijkt daarom een verantwoorde keuze.

D. Bandbreedte DIF: met een negatieve DIF kan door optimaal gebruik van het energiescherm in de winter energie worden bespaard (de rest van het jaar is hiervan geen besparing te verwachten). Bij de teelt van tomaat wordt over het algemeen geen gebruik gemaakt van energiescherm, en het is daarom niet te verwachten dat de regelaar stooklijnen met -DIF zal gaan berekenen. Overwogen kan worden om - DIF pas toe te staan als de LAI minstens 2 is, omdat de LAR kleiner wordt bij -DIF. Alleen van een DIF van -2°C is geconstateerd dat er geen nadelige opbrengsteffecten zijn⁸. De toelaatbare bandbreedte voor DIF lijkt te zijn **-2 tot +10°C**, waarbij wordt aangetekend dat er eigenlijk geen duidelijke aanwijzingen zijn dat er sprake is van een bovengrens.

6.1.4 Aanlooperperiode bij start van de teelt

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen het startrecept en de rest. Bij de eerste start in de winter geldt dat er weinig licht is te verwachten, daar staat tegenover dat de plantbelasting zeer gering is. Het is vooral belangrijk om zo snel mogelijk een groot bladoppervlak te laten ontstaan. **Aanbeveling:** eerst een hoge temperatuur instellen voor snelle bladstrekking, daarbij een hogere dag- dan nachttemperatuur voor goede vegetatieve groei. De etmaaltemperatuur kan verlaagd wanneer de eerste bloei gewenst is. Pas als de eerste zetting er goed in zit beginnen met de TI-behandeling. Hierdoor zullen de gewassen met de integrerende en de niet-integrerende regeling qua productie vergelijkbaar blijven.

6.2 ACHTERGRONDINFORMATIE TEELT EN INSTELLINGEN PAPRIKA

Toepassing van temperatuurintegratie bij het regelen van het kasklimaat geeft een aantal extra vrijheden vergeleken met een conventionele regeling. **Doelen** van dit project zijn: (1) telers in de praktijk vertrouwd te maken met een wat andere manier van denken over temperatuur die hieruit voortvloeit, en (2) te laten zien dat het toepassen van temperatuurintegratie kan leiden tot energiebesparing. Het is niet de bedoeling om in dit project grenzen te gaan verkennen. Er zal daarom wat betreft energiebesparing ook niet het maximaal mogelijke worden gerealiseerd.

6.2.1 Algemene effecten van temperatuur op gewasgroei, ontwikkeling en kwaliteit:

De belangrijkste invloed van **temperatuur** is op de ontwikkelingsnelheid van het gewas (bladafplitsing, bloeitempo, uitgroei van bladeren en vruchten); hoe hoger de temperatuur, hoe sneller deze processen verlopen^{1,2}. De directe invloed van temperatuur op de groei (fotosynthese, productie van biomassa) is veel geringer; deze processen worden veel sterker bepaald door de factor **licht**³.

Temperatuur kan wel een **indirecte invloed** hebben op de productie van biomassa: bij een jong gewas zijn de bladeren vaak nog niet ver genoeg uitgegroeid om al het beschikbare licht op te vangen. Versnelde afsplitsing en uitgroei van bladeren bij een hogere temperatuur zorgt dat het gewas meer licht opvangt en meer assimilaten maakt. Deze assimilaten worden meteen weer geïnvesteerd in extra blad zodat er meer licht kan worden opgevangen en een effect van rente - over - rente ontstaat. Dit effect stopt zodra er zoveel blad is dat vrijwel al het beschikbare licht wordt opgevangen, en de aanmaak van extra blad geen extra voordeel meer oplevert. Verschillen die in deze vroege teeltfase ontstaan kunnen de hele teelt doorwerken op de productie⁴.

Het basisprincipe van **temperatuurintegratie** is dat de gemiddelde temperatuur bepalend is voor de ontwikkeling van het gewas. Bij een bepaalde gemiddelde temperatuur hoort dus in principe altijd een vaste ontwikkelingssnelheid. De manier waarop dit gemiddelde tot stand is gekomen is veel minder belangrijk^{2,5}.

Op deze regel is één belangrijke uitzondering: de verdeling van temperatuur over dag en nacht. Wanneer de dagtemperatuur gedurende een langere periode consequent verschilt van de nachttemperatuur dan heeft dit gevolgen voor het gewas. Dit systematische verschil wordt aangeduid met **DIF**; een positieve DIF betekent dat de dagtemperatuur hoger is dan de nachttemperatuur, bij een negatieve DIF zijn dag- en nachttemperatuur omgekeerd. Het belangrijkste effect van -DIF bij paprika is een verkorting van de internodiën; positieve DIF geeft meer strekking. +DIF kan een gunstig effect op de uitgroei van het blad (LAR) waarbij meer lichtinvang tot een hogere productie leidt; omgekeerd kan een verminderde bladstrekking bij -DIF de vroege productie remmen⁶. Wanneer dit probleem wordt voorkomen is er over het algemeen geen effect van DIF op de totaalproductie, evenmin als op de ontwikkelingssnelheid⁷. Effecten van DIF zijn eigenlijk alleen over langere perioden bestudeerd, over effecten van kortere perioden of een minder regelmatige DIF is niets bekend. In vergelijking met de effecten van -DIF lijken effecten van meerdaagse temperatuurschommelingen relatief klein te zijn.

6.2.2 Plantbalans, zetting en regelmaat

De aanmaak (fotosynthese) en de verwerking van assimilaten (onderhoud van de plant en groei) moeten in principe met elkaar in evenwicht zijn. Op de lange duur kan een plant nooit meer assimilaten opmaken dan er gevormd zijn, en de capaciteit om niet verwerkte assimilaten op te slaan is ook eindig. Het feit dat de plant over tijdelijke opslagcapaciteit beschikt betekent wel dat de afstemming van aanmaak en verwerking van assimilaten op de korte termijn (1-2 dagen) niet erg kritisch is; de verschillen worden gebufferd⁸. De meeste vruchtgroentegewassen (waaronder paprika) zijn in staat om zelf de assimilatenbehoefte af te stemmen op het aanbod. Dit kan doordat een overschot aan assimilaten leidt tot extra vruchtzetting, terwijl een tekort leidt tot een slechte zetting⁹. Uitgroeïende vruchten zijn meestal de belangrijkste afnemers van assimilaten. Een hoge temperatuur stimuleert de uitgroei van vruchten en daarmee de verwerking van assimilaten, waardoor de zetting zal afnemen. Omgekeerd zal een lage temperatuur de zetting stimuleren doordat een vertraagde uitgroei leidt tot een overschot aan assimilaten. Doordat de invloed van de zetting op de totale plantbelasting vrij traag doorwerkt kan een ongewenst cyclisch patroon van hoge en lage plantbelasting ontstaan¹⁰. Bij paprika kan ook een overschot aan assimilaten tot problemen leiden doordat zg. 'knoopvruchten' ontstaan^{7,11}. Het is de taak van de teler om met aanpassingen van de stengeldichtheid, vruchtsnoei en de keuze van het temperatuurniveau het gewas in balans te houden en de productie op regelmaat.

6.2.3 Instellingen voor de Econaut CTI

A. Bandbreedte temperatuur: veelgebruikte instellingen voor de stooklijn in de teelt van paprika zijn: 22/22°C (D/N) in de winter (vegetatieve fase), later 22/18°C om zetting te krijgen, met een lichtinvloed op het dagsetpoint van 4°C per 1000 W/m². Bij een conventionele klimaatregeling wordt tussen stoken en luchten seizoensafhankelijk een dode zone ingesteld van 6°C in de winter tot 1 of 0°C in zomer/herfst. In de winter wordt een langere (8-10°C) proportionele band voor de luchting ingesteld dan in de zomer (4°C). Met 22/18°C als ingestelde stooklijn zal bij een conventionele regeling de gerealiseerde kasttemperatuur al een flinke bandbreedte vertonen, van naar schatting 8°C (17-25°C) in de winter tot wel 14°C in de zomer (18 - 32°C). Voor de vergelijkbaarheid met de praktijk is het belangrijk dat de regelaar in de (niet integrerende) controlebehandeling zo wordt ingesteld dat een vergelijkbaar regelgedrag ontstaat. Om de integrerende regelaar in vergelijking met dit voor de winter gangbare temperatuurbereik wat extra bandbreedte te geven kan worden gekozen voor **16-27°C** (+ of - 2°C) of **15-28°C** (+ of - 3°C). Naar de zomer toe kan geleidelijk de toelaatbare maximumtemperatuur worden verhoogd.

In de literatuur wordt aangegeven dat bloei en vruchtvorming bij paprika in ieder geval goed gaan tussen 10 en 28°C, terwijl kortdurende perioden van hoge temperatuur worden getolereerd (max. 4 uur bij 32°C)¹². Er is sprake van een sterke interactie tussen tolerantie voor hoge temperaturen en het lichtniveau: bij weinig licht neemt de zetting bij hoge temperaturen sterk af. De range van **13 tot 27°C** (winter) of **32°C** (zomer) lijkt dus fysiologisch veilig voor paprika. Er zijn aanwijzingen dat een hoge nachttemperatuur schadelijker is (i.v.m. bloemabortie) dan een hoge dagtemperatuur; omgekeerd werken lage nachttemperaturen (10°C of lager) bevorderlijk op de bloei¹³. De vitaliteit van het stuifmeel neemt af bij temperaturen lager dan 15°C en hoger dan 30°C¹⁴, maar het is niet duidelijk in hoeverre de pollenkieming doorwerkt in de totale vruchtproductie.

B. Bandbreedte afwijking temperatuursom: bij veel gewassen geldt dat afwijkingen tot ca. 300 graaduren nog zonder negatieve effecten kunnen worden gecompenseerd¹⁵. Ook bij paprika¹⁶ lijken afwijkingen van 300 – 500 graaduren nog te kunnen worden gecompenseerd. Als voorzichtige instelling voor de regelaar zou voor een bandbreedte van **-200 tot +200 graaduren** kunnen worden gekozen.

C. Maximale integratieperiode: verwacht mag worden dat het gerealiseerde temperatuurverloop van de CTI-regeling rustiger zal zijn naarmate de integratieperiode langer is. Er hoeft n.l. minder sterk te worden ingegrepen naarmate de periode waarover temperatuurafwijkingen kunnen worden gecompenseerd langer is. De uitgroeiduur van paprika is lang in vergelijking met de maximale integratieperiode van de CTI-regelaar (6 – 8 weken tegenover 1 week). Een integratieperiode van 14 dagen bleek geen problemen op te leveren¹⁶. Een integratieperiode van **7 dagen** lijkt daarom een verantwoorde keuze.

D. Bandbreedte DIF: in de winter is een negatieve DIF de mogelijkheid om door optimaal gebruik van het energiescherm energie te besparen. Buiten het winterseizoen heeft wat betreft energiebesparing -DIF geen zin. Overwogen kan worden om - DIF pas toe te staan als de LAI minstens 2 is, omdat de LAR kleiner wordt bij -DIF. Dit kan waarschijnlijk geen kwaad meer zodra de LAI maar hoog genoeg is. Van een DIF van -4 tot -8°C is geconstateerd dat er geen nadelige opbrengsteffecten zijn, bij -8 was de tendens dat het percentage klasse 2 vruchten toenam⁷. Wel moet worden opgemerkt dat de stand van het gewas aan het eind van de winter als 'schraal' en 'zwak' werd beoordeeld. De toelaatbare bandbreedte voor DIF lijkt te zijn -4 tot +8°C, waarbij wordt aangetekend dat er eigenlijk geen duidelijke aanwijzingen zijn dat er sprake is van een bovengrens. Een voorzichtige instelling is **-2 tot +8°C**.

6.2.4 Aanlooperperiode bij start van de teelt

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen het startrecept en de rest. Bij de eerste start in de winter geldt dat er weinig licht is te verwachten, daar staat tegenover dat de plantbelasting zeer gering is. Het is vooral belangrijk om zo snel mogelijk een groot bladoppervlak te laten ontstaan. **Aanbeveling:** eerst een hoge temperatuur instellen voor snelle bladstrekking, waarbij de dagtemperatuur hoger is dan de nachttemperatuur voor goede vegetatieve groei. De temperatuur verlagen wanneer de eerste bloei gewenst is. Pas als de eerste zetting er goed in zit beginnen met de TI-behandeling. Hierdoor zullen de gewassen met de integrerende en de niet-integrerende regeling qua productie vergelijkbaar blijven. Bij de huidige praktijkproef met de Econaut CTI zal deze fase nu ongeveer voorbij zijn.

6.3 ACHTERGRONDINFORMATIE TEELT EN INSTELLINGEN KOMKOMMER

Toepassing van temperatuurintegratie bij het regelen van het kasklimaat geeft een aantal extra vrijheden vergeleken met een conventionele regeling. **Doelen** van dit project zijn: (1) telers in de praktijk vertrouwd te maken met een wat andere manier van denken over temperatuur die hieruit voortvloeit, en (2) te laten zien dat het toepassen van temperatuurintegratie kan leiden tot energiebesparing. Het is niet de bedoeling om in dit project grenzen te gaan verkennen. Er zal daarom wat betreft energiebesparing ook niet het maximaal mogelijke worden gerealiseerd.

6.3.1 Algemene effecten van temperatuur op gewasgroei, ontwikkeling en kwaliteit:

De belangrijkste invloed van **temperatuur** is op de ontwikkelingssnelheid van het gewas (bladafsplitsing, bloeitempo, uitgroei van bladeren en vruchten); hoe hoger de temperatuur, hoe sneller deze processen verlopen. De directe invloed van temperatuur op de groei (fotosynthese, productie van biomassa) is veel geringer; deze processen worden veel sterker bepaald door de factor **licht**¹.

Temperatuur kan wel een **indirecte invloed** hebben op de productie van biomassa: bij een jong gewas zijn de bladeren vaak nog niet ver genoeg uitgegroeid om al het beschikbare licht op te vangen. Een snelle afsplitsing en de uitgroei van bladeren bij een hogere temperatuur zorgt dat het gewas meer licht opvangt en meer assimilaten maakt. Deze assimilaten worden meteen weer geïnvesteerd in extra blad zodat er meer licht kan worden opgevangen en een effect van rente - over - rente ontstaat. Dit effect stopt zodra er zoveel blad is dat vrijwel al het beschikbare licht wordt opgevangen, en de aanmaak van extra blad geen extra voordeel meer oplevert. Verschillen die in deze vroege teeltfase ontstaan kunnen de hele teelt doorwerken op de productie^{2,3}.

Het basisprincipe van **temperatuurintegratie** is dat de gemiddelde temperatuur bepalend is voor de ontwikkeling van het gewas. De manier waarop dit gemiddelde tot stand is gekomen is veel minder belangrijk. Bij een bepaalde gemiddelde temperatuur hoort dus in principe altijd een vaste ontwikkelingssnelheid.

Op deze regel is één belangrijke uitzondering: de verdeling van temperatuur over dag en nacht. Wanneer de dagtemperatuur gedurende een langere periode consequent verschilt van de nachttemperatuur dan heeft dit gevolgen voor het gewas. Dit systematische verschil wordt aangeduid met **DIF**; een positieve DIF betekent dat de dagtemperatuur hoger is dan de nachttemperatuur, bij een negatieve DIF zijn dag- en nachttemperatuur omgekeerd. Algemene effecten van **-DIF** bij komkommer zijn: kortere internodiën en een lichtere kleur van bladeren en vruchten. Lichtgekleurde vruchten voldoen soms niet meer aan de norm voor exportkwaliteit. Een positieve DIF geeft meer strekking (minder bladeren onder de draad) en een donkere blad- en vruchtkleur. Volgens enkele rapporten heeft **+DIF** een gunstig effect op de uitgroei van het blad (LAR)^{2,4} waarbij meer lichtinvang tot een hogere productie leidt, maar dit effect wordt niet altijd bevestigd^{5,6}. In vergelijking hiermee lijken effecten van meerdaagse temperatuurschommelingen relatief klein te zijn. Ontwikkelingssnelheid en totaalproductie

worden over het algemeen niet beïnvloed door DIF. Effecten van DIF zijn eigenlijk alleen over langere perioden bestudeerd, over effecten van kortere perioden of een minder regelmatige DIF is niets bekend.

6.3.2 Plantbalans en regelmaat

De aanmaak (fotosynthese) en de verwerking van assimilaten (onderhoud van de plant en groei) moeten in principe met elkaar in evenwicht zijn. Op de lange duur kan een plant nooit meer assimilaten opmaken dan er gevormd zijn, en de capaciteit om niet verwerkte assimilaten op te potten is ook eindig. Het feit dat de plant over tijdelijke opslagcapaciteit beschikt betekent wel dat de afstemming van aanmaak en verwerking van assimilaten op de korte termijn (1-2 dagen) niet erg kritisch is; de verschillen worden gebufferd. De meeste vruchtgroentegewassen (waaronder komkommer) zijn in staat om zelf de assimilatenbehoefte af te stemmen op het aanbod. Dit kan doordat een overschot aan assimilaten leidt tot extra bloei, terwijl een tekort zorgt dat minder bloemen tot ontwikkeling komen⁷, terwijl ook de abortie van vruchten toeneemt. Uitgroeïende vruchten zijn meestal de belangrijkste afnemers van assimilaten. Een hoge temperatuur stimuleert de uitgroei van vruchten en daarmee de verwerking van assimilaten, waardoor de vorming van nieuwe bloemen relatief zal afnemen. Omgekeerd zal een lage temperatuur de bloei stimuleren doordat een vertraagde uitgroei leidt tot een overschot aan assimilaten. Doordat de invloed van het aantal gevormde bloemen op de totale vruchtbelasting vrij traag doorwerkt bestaat het gevaar dat de productie onregelmatig wordt. Het is de taak van de teler om met aanpassingen van de stengeldichtheid, vruchtsnoei en de keuze van het temperatuurniveau het gewas in balans te houden en de productie op regelmaat. Bij het meest toegepaste teeltsysteem (paraplusysteem), wordt alleen gestuurd met vruchtsnoei bij de stamvruchten (stengel tot de draad), later niet meer. De plantdichtheid wordt in de praktijk wel enigszins gevarieerd. Bij het hogedraadsysteem wordt er inderdaad gestuurd via aantal stengels en vruchtsnoei.

6.3.3 Instellingen voor de Econaut CTI

A. Bandbreedte temperatuur: veelgebruikte instellingen voor de stooklijn in de teelt van komkommer zijn: 23/20°C (D/N). Uit onderzoek⁸ blijkt dat productie en kwaliteit van komkommer in de winter bij stookinstellingen van 26/18.5°C niet onderdoen voor die bij 23/20°C, een bandbreedte van 7.5°C. Bij een conventionele klimaatregeling wordt tussen stoken en luchten seizoensafhankelijk een dode zone ingesteld van 4-8°C in de winter tot 1 of 0°C in zomer/herfst. In de winter wordt een langere (8-10°C) proportionele band voor de luchting ingesteld dan in de zomer (4°C). Met 23/20°C als ingestelde stooklijn zal bij een conventionele regeling de gerealiseerde kastemperatuur al een flinke bandbreedte vertonen, van naar schatting 5 of 6°C (19 - 25°C) in de winter tot wel 12°C in de zomer (20 - 32 °C). Voor de vergelijkbaarheid met de praktijk is het belangrijk dat de regelaar in de (niet integrerende) controlebehandeling zo wordt ingesteld dat een vergelijkbaar regelgedrag ontstaat. Om de integrerende regelaar in vergelijking met dit voor de winter gangbare temperatuurbereik wat extra bandbreedte te geven kan worden gekozen voor **18-26°C** (+ of - 1°C) of **17-27°C** (+ of - 2°C). Naar de zomer toe kan geleidelijk de maximumtemperatuur worden verhoogd. In de literatuur wordt aangegeven dat komkommer in ieder geval bloeit tussen etmaaltemperaturen van 15 en 27°C⁷. Negatieve effecten van hoge temperatuur beginnen pas boven 32°C⁹. Kortdurende perioden van 10°C leiden niet tot schade als ze maar tijdig worden gecompenseerd⁶. Bij lage temperaturen is er wel eerder kans op condensatie en guttatie. De range van **10 tot 32°C** lijkt dus fysiologisch het maximaal haalbare voor afwijkingen van korte duur, waarbij moet worden aangetekend dat hoge temperaturen in combinatie met een lage lichthoeveelheid hoogstwaarschijnlijk al eerder tot ongewenste effecten op de productie zullen leiden.

B. Bandbreedte afwijking temperatuursom: bij veel gewassen geldt dat afwijkingen tot ca. 300 graden nog zonder negatieve effecten kunnen worden gecompenseerd^{10,11,12}. Bij komkommer is weinig bekend over meerdaagse temperatuurintegratie. Jonge

komkommerplanten bleken afwijkingen tot 1200 graaduren te kunnen verdragen zonder dat de vegetatieve of generatieve ontwikkeling verstoord raken⁷. Bij tomaat is vastgesteld dat oudere planten grotere afwijkingen tolereren dan jonge planten¹⁰. Als voorzichtige instellingen voor de regelaar zou voor een bandbreedte van **-200 tot +200 graaduren** kunnen worden gekozen, hoewel de dubbele bandbreedte -300 tot +300 zeker nog niet onverantwoord lijkt.

C. Maximale integratieperiode: verwacht mag worden dat het gerealiseerde temperatuurverloop van de CTI-regeling rustiger zal zijn naarmate de integratieperiode langer is. Er hoeft n.l. minder sterk te worden ingegrepen naarmate de periode waarover temperatuurafwijkingen kunnen worden gecompenseerd langer is. Aan de andere kant is de uitgroeiduur bij komkommer relatief kort, gemiddeld 14 dagen (10-20 dagen, afhankelijk van het seizoen), waardoor het gewas snel op temperatuur reageert. Een lange integratieperiode kan bij extreem weer leiden tot te grote afwijkingen van de gewenste temperatuursom (bijv. 4°C afwijking gedurende 4 dagen is 384 graaduren). Bij een lange integratieperiode van **7 dagen** wordt daarom een beperkte bandbreedte aanbevolen, terwijl bij een kortere periode **3-4 dagen** de bandbreedte juist wat ruimer mag zijn¹⁴.

D. Bandbreedte DIF: in de winter is een negatieve DIF de mogelijkheid om door optimaal gebruik van het energiescherm energie te besparen. Buiten het winterseizoen heeft wat betreft energiebesparing -DIF geen zin. Overwogen kan worden om -DIF pas toe te staan als de LAI minstens 2 is, omdat de LAR kleiner wordt bij -DIF. Dit kan geen kwaad meer zodra de LAI maar hoog genoeg is. De aanbeveling is om het realiseren van -DIF te begrenzen op -6°C¹⁴. Negatieve DIF bij jonge planten (voordat er voldoende blad is gevormd) kan enige opbrengstderving opleveren door een verminderde cumulatieve lichtonderschepping, maar de literatuur is niet eenduidig op dit punt. -DIF veroorzaakt bleke vruchten, die mogelijk niet aan de norm voor exportkwaliteit voldoen. De toelaatbare bandbreedte voor DIF lijkt te zijn -6 tot +6°C; wordt voor veiligheid gekozen dan zou de range van **-3 tot 6°C** mogen lopen.

6.3.4 Aanlooperperiode bij start van de teelt

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen het startrecept en de rest. Bij de eerste start in de winter geldt dat er weinig licht is te verwachten, daar staat tegenover dat de plantbelasting zeer gering is. Het is belangrijk om zo snel mogelijk een groot bladoppervlak te laten ontstaan.

Aanbeveling: eerst een hoge temperatuur instellen voor snelle bladstrekking, waarbij de dagtemperatuur hoger is dan de nachttemperatuur voor goede vegetatieve groei². Het hoge temperatuurniveau niet te lang aanhouden om te zorgen dat voldoende bloemetjes worden aangelegd en vruchtjes niet worden afgestoten. Pas als de eerste vruchten een week oud zijn beginnen met de TI-behandeling. Hierdoor zullen de gewassen met de integrerende en de niet-integrerende regeling qua productie vergelijkbaar blijven. Aanbevolen wordt om terughoudend te zijn met temperatuurverschillen totdat het gewas aan de draad is¹⁴.

7 LITERATUUR

1. A.N.M. de Koning (1994) – Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Dissertation, Agric. Univ. Wageningen.
2. L.F.M. Marcelis & A.N.M. de Koning (1995) - Biomass partitioning in plants. in: Greenhouse climate control - an integrated approach, pp. 84-92. J.C. Bakker, G.P.A. Bot, H. Challa & N.J. van de Braak (eds.), Wageningen Pers, Wageningen.
3. A. Calvert & G. Slack (1974) - Light-dependent control of day temperature for early tomato crops. *Acta Hort.* 51: 163-168.
4. R.G. Hurd & C.J. Graves (1984) - The influence of different temperature patterns having the same integral on the earliness and yield of tomatoes. *Acta Hort.* 148: 547-554.
5. J.Y. Wang (1960) - A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41: 785-790.
6. M.P.N. Gent (1988) - Effect of diurnal temperature variation on early yield and fruit size of greenhouse tomato. *Appl. Agric. Res.* 3: 257-263.
7. E. Heuvelink (1989) - Influence of day and night temperature on the growth of young tomato plants. *Sci. Hort.* 38: 11-22.
8. A.N.M. de Koning (1988) - The effect of different day/night temperature regimes on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 63: 465-471.
9. A.N.M. de Koning (1992) - Effect of temperature on development rate and length increase of tomato, cucumber and sweet pepper. *Acta Hort.* 305: 51-55.
10. M. Tchamitchian - Equivalence of the temperature integral and the carbon dynamics concepts in plants: utility for control. *Acta Hort* :manuscript IHC Brussel 1998.
11. N. Bertin (1995) - Competition for assimilates and fruit position affect fruit set in indeterminate greenhouse tomato. *Ann. Bot.* 75: 55-65.
12. A.N.M. De Koning (1989) – The effect of temperature on fruit growth and fruit load of tomato. *Acta Hort.* 248: 329-336.
13. A.N.M. de Koning (1988) - More efficient use of base load heating with a temperature integrating control programme. Effect on development, growth and production of tomato. *Acta Hort.* 229: 233-237.
14. Tap (1998) - Optimaliserende Multivariabele Anticiperende Kasklimaat Regeling. Projectverslag NOVEM.
15. A.J.F. Picken (1984) - A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Hort. Sci.* 59: 1-13.
16. A. Varga & J. Bruinsma (1986) - Tomato. in: CRC Handbook of fruit set and development SP Monelise (ed.), pp. :461-481. CRC Press, Boca Raton, Fla.
17. D.P. Lohar & W.E. Peat (1998) - Floral characteristics of heat-tolerant and heat-sensitive tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars at high temperature. *Sci. Hort.* 73: 53-60.
18. F. Buwalda, R. Wertwijn & B. Eveleens (1996) - Mogelijkheden voor energiebesparing door temperatuurintegratie bij siergewassen - Een inventarisatie bij zes sierteeltgewassen. PBG Rapport 119.